



HAL
open science

**Les styles thématiques locaux : l'interprétation du réel
par les physiciens selon leur culture : une étude
comparative des physiciens indiens et français autour de
l'interprétation de la mécanique quantique**

Sabine Rabourdin

► **To cite this version:**

Sabine Rabourdin. Les styles thématiques locaux : l'interprétation du réel par les physiciens selon leur culture : une étude comparative des physiciens indiens et français autour de l'interprétation de la mécanique quantique. Education. Université de Lyon, 2016. Français. NNT : 2016LYSE1273 . tel-01456846v2

HAL Id: tel-01456846

<https://theses.hal.science/tel-01456846v2>

Submitted on 30 Jan 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



N°d'ordre NNT : 2016LYSE1273

THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON
opérée au sein de
l'Université Claude Bernard Lyon 1

Ecole Doctorale EPIC n°485

Spécialité de doctorat :
Épistémologie, histoire des sciences et des techniques

Soutenue publiquement le 12/12/2016,
par : **RABOURDIN Sabine**

**Les styles thématiques locaux : l'interprétation du
réel par les physiciens selon leur culture.**

Une étude comparative des physiciens indiens et français autour de
l'interprétation de la mécanique quantique.

Sous la direction de LAUTESSE Philippe et SIMON Jonathan

Devant le jury composé de :

- S. Houdart (CR CNRS, rapporteure)
- P. Lautesse (PU, codirecteur de thèse)
- J.M. Lévy-Leblond (PU émérite, examinateur et président)
- M. Paty (DR honoraire CNRS, invité)
- S. Ruphy (PU, rapporteure)
- J. Simon (PU, codirecteur de thèse)

Cette thèse a été opérée au sein du laboratoire EA 4148 : Sciences, Société, Historicité,
Éducation, Pratiques (S2HEP), de l'université Claude Bernard-Lyon 1
38-40 Boulevard Niels Bohr, 69100 Villeurbanne

UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD - LYON 1

Président de l'Université

Président du Conseil Académique

Vice-président du Conseil d'Administration

Vice-président du Conseil Formation et Vie Universitaire

Vice-président de la Commission Recherche

Directeur Général des Services

M. le Professeur Frédéric FLEURY

M. le Professeur Hamda BEN HADID

M. le Professeur Didier REVEL

M. le Professeur Philippe CHEVALIER

M. Fabrice VALLÉE

M. Alain HELLEU

COMPOSANTES SANTÉ

Faculté de Médecine Lyon Est – Claude Bernard

Faculté de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud – Charles
Mérieux

Faculté d'Odontologie

Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation

Département de formation et Centre de Recherche en Biologie
Humaine

Directeur : M. le Professeur J. ETIENNE

Directeur : Mme la Professeure C. BURILLON

Directeur : M. le Professeur D. BOURGEOIS

Directeur : Mme la Professeure C. VINCIGUERRA

Directeur : M. le Professeur Y. MATILLON

Directeur : Mme la Professeure A-M. SCHOTT

COMPOSANTES ET DÉPARTEMENTS DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Faculté des Sciences et Technologies

Département Biologie

Département Chimie Biochimie

Département GEP

Département Informatique

Département Mathématiques

Département Mécanique

Directeur : M. F. DE MARCHI

Directeur : M. le Professeur F. THEVENARD

Directeur : Mme C. FELIX

Directeur : M. Hassan HAMMOURI

Directeur : M. le Professeur S. AKKOUCHE

Directeur : M. le Professeur G. TOMANOV

Directeur : M. le Professeur H. BEN HADID

Département Physique

Directeur : M. le Professeur J-C PLENET

UFR Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Directeur : M. Y.VANPOULLE

Observatoire des Sciences de l'Univers de Lyon

Directeur : M. B. GUIDERDONI

Polytech Lyon

Directeur : M. le Professeur E.PERRIN

Ecole Supérieure de Chimie Physique Électronique

Directeur : M. G. PIGNAULT

Institut Universitaire de Technologie de Lyon 1

Directeur : M. le Professeur C. VITON

Ecole Supérieure du Professorat et de l'Éducation

Directeur : M. le Professeur A. MOUGNIOTTE

Institut de Science Financière et d'Assurances

Directeur : M. N. LEBOISNE



À ma famille, qui m'a aidée à apprivoiser un peu d'incertitude.

RÉSUMÉ

L'objectif de cette thèse est de comprendre l'influence de la culture des physiciens sur leurs représentations mentales profondes du réel. Ces représentations, appelées *themata*, sont des options ou des présupposés philosophiques : déterminisme, réductionnisme, objectivité, etc. Sont-elles partagées par les scientifiques, au-delà de leurs spécificités culturelles géographiques, reflétant ainsi les valeurs partagées de la science ? Ou bien la culture locale des scientifiques exerce-t-elle une influence sur leurs représentations du réel dans le cadre de leur travail scientifique ? Nous avons comparé plus de soixante-dix physiciens indiens et français, au sujet de leur représentation du réel, en particulier au sujet de la physique quantique.

Les résultats de notre recherche suggèrent qu'il pourrait exister des différences entre certains *themata* des physiciens indiens et français. Nous avons en particulier observé des différences qui nous laissent penser que les physiciens indiens apparaissent

- plus déterministes que les physiciens français ;
- plus attachés à l'appréhension discrète et non continue de la matière ;
- plus attachés au caractère subjectif de la connaissance c'est-à-dire qu'ils accordent un rôle plus important à l'observateur,
- plus enclins à envisager une approche systémique (et non réductionniste) des objets et phénomènes physiques
- plus convaincus de l'existence d'un ordre sous-jacent aux phénomènes, ce qui est beaucoup moins le cas pour les physiciens français.

À l'issue de notre recherche, nous estimons que l'on peut proposer l'hypothèse que les physiciens indiens et français rencontrés adhèrent à des *themata* différents, en particulier dans le cadre de la physique quantique. Pour interpréter ces résultats, nous évoquons des spécificités locales (ou nationales) pour les *themata*, c'est-à-dire de « styles thématiques locaux » (STL), un concept que nous développons spécifiquement pour cette recherche. Nous observons par ailleurs que dans le cas de la physique quantique, ces « styles

thématiques locaux » semblent influencer les choix de représentation et d'interprétation de la théorie quantique.

Mots clés : *themata*, culture savante, pensée scientifique, physique quantique, ontologie, Inde, France, comparaison, représentations, « styles thématiques locaux ».

RÉSUMÉ EN ANGLAIS

Local thematic styles: physicists' culture and their interpretation of reality.

A comparative study of Indian and French physicists around the interpretation of quantum mechanics

This thesis examines the influence of the cultural background of physicists on their deep mental representations of reality. These representations, called *themata*, are philosophical presuppositions: determinism, reductionism, objectivity, etc. Are scientists' *themata* independent of their cultural backgrounds, reflecting instead the shared values of science? Does the scientific culture influence their representations of reality in the context of their scientific work? We compare the *themata* of seventy Indian and French physicists, with a focus on their interpretation of quantum physics.

The results of our research suggest that there would be differences between Indian and French physicists we met, with respect to certain *themata* in the context of quantum physics. In particular, we observe differences that let us think that Indian physicists appear

- more deterministic than their French counterparts
- and they are more attached to a discrete rather than a continuous conception of matter.
- Indian physicists give a greater role to the subjective nature of knowledge (the observer)
- they have a more systemic approach to physical objects and phenomena, and they have a preference for an order underlying the phenomena.

This suggest that Indian and French physicists adhere to different *themata*. In order to interpret this differences, we suppose the existence of specific local (or national) styles for *themata*, that is to say, "local *thematic* styles" (STL), a concept that we have

developed specifically for this research. We also note that in the case of quantum physics these "local *thematic* styles" seem to influence scientists' choice of representation and interpretation of quantum theory.

Key words: *themata*, scientific culture, scientific thought, quantum physics, ontology, India, France, comparison, representations, « local thematic styles ».

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mes deux directeurs de thèse, Philippe Lautesse et Jonathan Simon, qui ont su m'apporter des encouragements et une écoute attentive. Leurs deux voix réunies se sont complétées subtilement et m'ont souvent ramenée dans un chemin plus sûr, dont ma curiosité éparpillée avait tendance à m'écarter.

Je remercie également Christine Chojnaki qui m'a épaulée dans mes débuts dans l'univers de l'Inde.

Une pensée particulière à mes collègues et amis doctorants, avec qui nous avons partagé d'insatiables interrogations de thésards : Pascal, Thibault, Séverine, Virgile, et les autres conquérants des humanités scientifiques.

Je n'aurai rien compris à la physique quantique sans Adrien Villa-Valls, qui a une pédagogie incroyable sur ce sujet collapsant !

Je ne sais pas si je dois remercier Hugues Chabot qui m'a conseillé de lire Gérard Holton, ce qui m'a conduit aux *themata* ! Je dis cela avec amusement pour tous ceux qui trouveront les *themata* rébarbatifs. Mais en tous les cas, je remercie grandement Hugues de ses judicieux conseils et de sa contagieuse richesse intellectuelle.

Je suis très reconnaissante à tous les physiciens qui ont bien voulu se prêter à mes questions, et qui ont même témoigné de l'intérêt pour mon sujet !

Je remercie les patients professeurs vers lesquels j'ai puisé quelques lumières lors de nos rencontres et discussions : Caterina Guenzi, Sundar Sarrukai, Kapil Raj, Philippe Descola, Michel Bitbol, Michel Paty, Philippe Dubois, Gilles Féréol, Henri Lasserre.

Et les amis irremplaçables qui ont apporté leur contribution de stimulateur ou de correcteur : Julie, Antoine, Priscilla, Karine, Aline, Stéphane, Marie, Lalé...

Une reconnaissance profonde à mes parents, mon frère et ma soeur pour leur écoute et leur confiance. À Vincent, pour son aide et sa clarté dans les moments confus, sa présence irremplaçable, sa patience, son humour et son amour. À Manon, pour sa curiosité téméraire et ses conseils toujours pertinents et affectueux. À Albin qui me ramène si joyeusement dans le monde macroscopique.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| Résumé..... | 5 |
| Résumé en anglais..... | 7 |
| Remerciements..... | 9 |
| Table des matières..... | 11 |
| Table des Illustrations..... | 17 |
| Liste des Annexes..... | 21 |
| Glossaire..... | 23 |
| Introduction..... | 26 |
| Chapitre I. Les styles thématiques locaux..... | 39 |
| I.A. L'universalisme scientifique contre les particularités locales ?..... | 39 |
| I.B. Les « styles locaux » en science : différents partisans, différentes écoles de pensée.... | 42 |
| I.C. Mobilisation des « styles thématiques locaux » dans le cadre de cette thèse..... | 48 |
| Quelles différences ont les <i>themata</i> avec d'autres concepts ou outils similaires ?..... | 50 |
| Avantage des <i>themata</i> pour notre recherche..... | 52 |
| Qu'est-ce qui influence l'adoption par tel scientifique de tel <i>thema</i> ?..... | 53 |
| Critique et contre-critique de l'outil « style thématique local » (STL)..... | 55 |

| | |
|---|-----|
| Critique du mot style..... | 55 |
| Limite des <i>themata</i> | 56 |
| La science au-delà des aspects nationaux | 56 |
| Est-ce que la relativité des représentations du réel relativise la science? | 57 |
| Le risque idéologique..... | 57 |
| La science est internationale | 58 |
| Critique concernant les identités culturelles | 60 |
| I.D. Conclusion de ce chapitre..... | 62 |
| Chapitre II. Indiens, Français | 63 |
| II.A Davantage de ressemblances que de différences | 63 |
| II.B. Une certaine parenté..... | 65 |
| II.C. Présentation succincte des caractéristiques géographiques des deux pays | 66 |
| II.D. L'Inde et la France sur la scène scientifique internationale..... | 67 |
| II.D. Les scientifiques indiens et français ont-ils un héritage thématique propre ? | 69 |
| Peut-on parler d'un style thématique scientifique français ? | 71 |
| Peut-on parler d'un style thématique scientifique indien ?..... | 78 |
| Les prémices de la connaissance savante | 81 |
| La période classique | 83 |
| Les traditions savantes entre la période classique et la période coloniale.... | 90 |
| Spécificités des sciences indiennes anciennes..... | 91 |
| La science dans l'Inde moderne : écartèlement et émancipation | 99 |
| II.E. Conclusion de ce chapitre..... | 108 |
| Chapitre III. Méthode : Qui, quoi, comment ? | 109 |
| III.A. Méthodologie : Recueil des discours et comparaison..... | 109 |
| III.B. Une méthodologie qualitative et quantitative. | 110 |
| III.C. L'enquête : Qui ? Comment ?..... | 113 |
| III.D. Sélection des physiciens : l' « échantillon »..... | 114 |
| Le genre | 115 |
| L'âge | 115 |
| Les disciplines..... | 116 |
| Le lieu de travail | 119 |
| Le TIFR..... | 119 |
| L'IPNL | 120 |
| L'origine régionale..... | 122 |
| Le milieu social et familial | 124 |
| Est-ce la même chose de discuter de physique en français avec des Français et en anglais avec des Indiens ? | 126 |

| | |
|---|-----|
| III.E. Avertissements | 127 |
| Concernant l'équilibre sur l'étude France/Inde | 127 |
| Concernant l'usage des chiffres, des statistiques et des pourcentages..... | 127 |
| Conventions de retranscription | 128 |
| Passage du contenu des entretiens au discours scientifique..... | 128 |
| Présentation des discours : montrer les différences ou les ressemblances ?..... | 128 |
| De quelle discipline relève cette recherche ?..... | 129 |
| Chapitre IV. Analyse des <i>themata</i> des physiciens indiens et français | 130 |
| IV.A. La mécanique quantique, un réVélateur de <i>themata</i> | 135 |
| Le problème dit « de la mesure »..... | 138 |
| Le problème de localité..... | 139 |
| Paradoxe du chat de Schrödinger..... | 139 |
| Autres problèmes | 140 |
| IV.B. <i>Thema</i> Déterminisme/Indéterminisme..... | 141 |
| Degré d'affinité pour le déterminisme..... | 142 |
| Les enjeux du déterminisme | 144 |
| Revenons sur les deux questions posées au sujet du déterminisme :..... | 146 |
| Les différents arguments..... | 148 |
| Déterminisme et prédictibilité..... | 148 |
| Tristesse d'un monde déterministe ou inquiétude d'un monde aléatoire..... | 149 |
| IV.C. <i>Thema</i> Continu/discontinu..... | 152 |
| Degré d'affinité - <i>thema</i> continu/discontinu..... | 153 |
| Résultats et différences | 154 |
| Les enjeux du continu/discontinu | 154 |
| La dualité onde/corpuscule | 154 |
| Différences dans les arguments et représentations des physiciens indiens et français... | 159 |
| Une dualité d'apparence | 160 |
| Une attirance esthétique ou philosophique | 160 |
| Par des arguments scientifiques | 162 |
| Bell et la non-séparabilité quantique..... | 164 |
| Les besoins d'une localité préservée..... | 167 |
| IV.D. <i>Thema</i> Subjectivité/Objectivité | 170 |
| Question « avant la mesure » | 171 |
| Question « conscience »..... | 171 |
| Question « observateur »..... | 171 |
| Question « scientificité »..... | 172 |
| Degré d'affinité - <i>thema</i> subjectivité/objectivité..... | 172 |

| | |
|---|-----|
| Différents degrés d'objectivité..... | 173 |
| Principaux résultats..... | 174 |
| Évolution du rôle de l'observateur en physique..... | 174 |
| Analyse des discours..... | 177 |
| Cinq attitudes - cinq physiciens en guise d'exemple..... | 177 |
| IV.E. <i>Thema</i> Ordre/désordre | 179 |
| Questions du <i>thema</i> | 180 |
| Question « ordre »..... | 180 |
| Question « Heisenberg »..... | 180 |
| Question « contrôle »..... | 180 |
| Questions « théorie »..... | 180 |
| Répartition des réponses | 181 |
| Degré d'affinité - <i>thema</i> ordre/désordre..... | 181 |
| Principaux résultats | 182 |
| La question de l'ordre et de la symétrie dans la physique moderne | 183 |
| Analyse des réponses | 184 |
| IV.F. <i>Thema</i> Systémisme/réductionnisme..... | 188 |
| Questions du <i>thema</i> | 189 |
| Question « unification »..... | 189 |
| Question « disciplines » | 190 |
| Question « théorie » | 190 |
| Question « briques » | 191 |
| Degré d'affinité - <i>thema</i> systémisme/réductionnisme..... | 192 |
| Principaux résultats..... | 193 |
| Place de l'attitude réductionniste en physique..... | 193 |
| Analyse des arguments | 194 |
| IV.G. Conclusion de ce chapitre. Tableau de synthèse par analyse thématique | 199 |
| Chapitre V. Les <i>themata</i> influencent-ils les physiciens dans leur adoption d'une interprétation de la physique quantique ?..... | 201 |
| V.A. Les différentes interprétations de la mécanique quantique..... | 203 |
| Interprétations orthodoxe et de Copenhague | 204 |
| Interprétation des mondes multiples ou des multivers (ou ManyWorlds Interpretation (MWI))..... | 204 |
| Interprétation de Bohm, des variables cachées ou de l'onde pilote..... | 206 |
| Théorie GRW d'après les noms de ses auteurs (G.C. Ghirardi, A. Rimini, et T. Weber), ou « collapse theory » | 207 |
| Autres interprétations..... | 208 |

| | |
|---|-----|
| V.B. Lien entre interprétations, problèmes et <i>themata</i> en mécanique quantique..... | 209 |
| Répartition des choix d'interprétations..... | 210 |
| Le vécu des problèmes d'interprétation de la théorie quantique..... | 214 |
| Qui adhère à quelle interprétation de la mécanique quantique ? | 216 |
| Simplicité pour Copenhague | 217 |
| Ceux qui optent pour l'interprétation de Bohm | 219 |
| Interprétation d'Everett, manyworlds (mondes multiples ou multivers)..... | 220 |
| Discussion sur les choix d'interprétation..... | 221 |
| V.C. Conclusion de ce chapitre | 222 |
| Chapitre VI. Explication des différences et recherche de corrélations | 223 |
| VI.A. Trouve-t-on des différences significatives avec d'autres paramètres que les catégories Indiens/Français (âge, discipline, etc.) ?..... | 223 |
| Âge..... | 224 |
| discipline ? | 226 |
| VI.B. Eléments d'explication des différences thématiques, en termes d'histoire culturelle et savante | 230 |
| Déterminisme..... | 230 |
| Continu..... | 232 |
| Ordre | 232 |
| Subjectivité | 233 |
| Systémisme | 234 |
| VI.C. Autres paramètres qui influencent les réponses..... | 236 |
| Manque de confiance : je dis « oui », car je ne sais pas | 236 |
| Importance du savoir écrit, intemporel et théorique | 240 |
| VI.D. Corrélations et mise en relation des questions et des <i>themata</i> : construction d'un système | 242 |
| Question de tendance | 242 |
| Corrélations entre <i>themata</i> | 243 |
| Subjectivité/objectivité et continuité/discontinuité..... | 245 |
| Continu/discontinu et systémisme/réductionnisme..... | 245 |
| La structure, le système sous les mots | 246 |
| Les <i>themata</i> en système | 246 |
| Quel système ? | 247 |
| Conclusion de cette sous-partie | 248 |

| | |
|--|-----|
| VI.E. Conclusion de ce chapitre | 249 |
| Chapitre VII. Questionnements et critiques methodologIques : de la pensée individuelle à la pensée scientifique | 250 |
| VII.A. Critique des nos outils..... | 250 |
| Ce que disent les physiciens interrogés est-il vraiment fiable ? Regard sur l'échange entre l'interviewer et l'interviewé..... | 251 |
| Regard du chercheur sur lui-même et ethnocentrisme..... | 252 |
| VII.B. Trouve-t-on des ressemblances entre physiciens indiens et français ? | 255 |
| Ressemblance sur la difficulté de définir un fait..... | 255 |
| Ressemblance sur la perception d'une réalité mathématique | 256 |
| Ressemblance sur la valeur de l'expérimentation pour discriminer les théories | 256 |
| Ressemblance sur l'attrait pour le savoir théorique | 257 |
| Ressemblance sur l'attrait pour les mathématiques | 258 |
| VII.D. Quêtes identitaires, pays en développement, science et tradition | 259 |
| VII.E. Passage de la pensée individuelle à la pensée scientifique : Recours aux cosmogrammes | 266 |
| VIII. Conclusion générale | 274 |
| Rappelons quelles étaient nos questions, nos hypothèses et notre problématique..... | 274 |
| Méthode..... | 275 |
| Notre thèse | 275 |
| Nos principaux résultats : réponses aux questions de la problématique | 275 |
| Résultats secondaires | 279 |
| Notre apport à la recherche | 283 |
| Préconisations | 283 |
| Perspectives..... | 284 |
| Bibliographie..... | 287 |

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau 1 : Synthèse des deux styles de pensée scientifique proposés par J.Harwood (1993). | 45 |
| Tableau 2 : Synthèse des styles de pensée scientifique proposés par P.Duhem (1906)..... | 75 |
| Tableau 3: Analyse des données recueillies, par les cas ou par les variables. Adapté de <i>Techniques de sondage</i> (Ardilly, 1994 p205 et 211). | 111 |
| Tableau 4 : Proportion de physiciens dans chaque tranche d'âge respectivement au CNRS (source : bilans sociaux CNRS 1999 à 2013), dans le groupe de physiciens français, et dans le groupe de physiciens indiens interrogés..... | 116 |
| Tableau 5 : Pourcentage de chercheurs par sous-disciplines dans nos groupes de physiciens et au TIFR et au CNRS. | 117 |
| Tableau 6: Pourcentage d'expérimentateurs et de théoriciens dans nos deux groupes de physiciens. Comme pour tous les tableaux, les pourcentages sont arrondis à l'unité près. | 118 |
| Tableau 7 : Répartition des physiciens rencontrés selon leur choix de devenir scientifique. | 125 |
| Tableau 8: Répartition des univers familiaux des physiciens interrogés. | 125 |
| Tableau 9 : synthèse de la répartition des réponses se référant à l'aspect déterministe de l'univers ou d'un évènement quantique individuel, tel que la désintégration radioactive d'un atome, selon l'origine des physiciens, français ou indiens. | 141 |
| Tableau 10 : Répartition des réponses des physiciens. | 153 |
| Tableau 11 : Répartition des réponses aux différentes questions du tema. | 172 |
| Tableau 12 : Répartition des physiciens en fonction de leur degré d'objectivité. | 174 |
| Tableau 13 : Répartition des réponses aux questions relatives au <i>thema</i> ordre/désordre. | 181 |
| Tableau 14: Répartition des réponses des deux groupes de physiciens indiens et Français aux différentes questions impliquées dans le <i>thema</i> systémisme/réductionnisme..... | 192 |
| Tableau 15 : Degré d'adhésion des physiciens aux différents <i>themata</i> , chacun étant calculé à partir de la fréquence de réponses aux questions incluses dans chaque <i>thema</i> | 199 |

| | |
|---|-----|
| Tableau 16 : Proposition de tableau synthétique des inclinaisons thématiques issues des principales interprétations de la théorie quantique..... | 210 |
| Tableau 17 : Répartition des préférences d'interprétation parmi les physiciens interrogés... | 211 |
| Tableau 18 : répartition des réponses à la question « quel est le problème principal au niveau de l'interprétation de la théorie quantique ? »..... | 214 |
| Tableau 19 : Répartition des réponses des deux groupes de physiciens indiens et Français au sujet des critères les plus importants pour une bonne théorie. Nous observons un peu plus d'affinité simplicité et d'unité pour les physiciens français..... | 218 |
| Tableau 20 : Répartition des réponses en fonction de la classe d'âge : de 20 à 45 ans (37 physiciens) et de 45 à 70 ans (35 physiciens). | 225 |
| Tableau 21 : Répartition des réponses en fonction de la catégorie de discipline de recherche (31 théoriciens et 25 expérimentateurs). Nous observons une grande similarité entre les deux groupes (différence toujours inférieure à 15%)..... | 227 |
| Tableau 22 : Corrélations entre <i>themata</i> , à partir des <i>themata</i> élaborés dans chaque chapitre. Le coefficient moyen de corrélation d'un <i>thema</i> avec les autres <i>themata</i> figure dans la colonne en gras (la deuxième). Les cases foncées avec nombres soulignés marquent les plus forts coefficients de corrélation | 244 |
| Tableau 22 : Répartition des réponses des deux groupes de physiciens indiens et français, à la question : les mathématiques sont-ils un outil créé par les humains ou bien, une réalité indépendante ?..... | 256 |
| Tableau 23: Répartition des réponses à la question concernant les critères d'une bonne théorie. | 257 |

Liste des figures

| | |
|---|-----|
| Figure 1: Évolution de la population des pays les plus peuplés : Chine, Inde, États-Unis. Prévisions de l'United Nations Population Division, 2013..... | 66 |
| Figure 2 : Les différentes écoles de philosophies de l'Inde ancienne (<i>darśana</i>). Tableau inspiré de Alais (2011)..... | 83 |
| Figure 3: Les différentes catégories et leurs correspondances dans le Vaiśeṣika (Rabourdin 2012)..... | 94 |
| Figure 4: C.V. Raman, presidency college, Madras 1931 extrait de https://cvraman.tributes.in/mars 2014 | 102 |
| Figure 5 : Mohandas Karamchand Gandhi, Poona, Inde, 1946 (Margaret Bourke-White, Life) extrait de https://www.pinterest.com/pin/16677461092836941/ janvier 2015..... | 102 |

| | |
|---|-----|
| Figure 6 : Vandana Shiva au « Salone internazionale del gusto » - Terra Madre 2012, Torino - Italy. Extrait de https://it.wikipedia.org/wiki/Terra_Madre avril 2015..... | 106 |
| Figure 7 : Présentation des trois postures dans les méthodes qualitatives. | 112 |
| Figure 8: Les différentes disciplines de la physique. Source : CNRS 2011..... | 116 |
| Figure 9 : Homi Bhabha inaugurant les nouveaux bâtiments du TIFR en 1962 à Bombay. extrait de https://culturalinstitute.com/ janvier 2016..... | 120 |
| Figure 10: l'IUCAA à Poona (2013)..... | 120 |
| Figure 11: L'IPNL (2013)..... | 121 |
| Figure 12 : Deux visions différentes d'une même réalité : l'atome. | 137 |
| Figure 13 : Illustration de l'expérience de pensée du « chat de Schrödinger ». <i>Diagram of Schrödinger's cat theory</i> . 2008. Dhatfield | 140 |
| Figure 14 : Degré d'affinité pour le déterminisme au sein du <i>thema</i> déterminisme/indéterminisme. | 142 |
| Figure 15 : Degré d'affinité pour la continuité au sein du <i>thema</i> continu/discontinu..... | 153 |
| Figure 16 : Demonstration of single electron build up of an interference pattern | 159 |
| Figure 17 : Schéma représentant l'expérience de pensée d'EPR. | 165 |
| Figure 18 : Degré d'affinité au sein du <i>thema</i> subjectivité/objectivité. | 172 |
| Figure 19 : Degré d'affinité au sein du <i>thema</i> ordre/désordre. | 182 |
| Figure 20 : Extrait visuel de la conférence de W.M datant de 2004. Sans symétrie, on ne peut déduire le tout à partir d'une partie. Exemple avec les piliers du Parthénon, grâce à la symétrie, on peut estimer la répartition de tous les piliers, à partir de quelques-uns. | 186 |
| Figure 21 : Degré d'affinité au sein du <i>thema</i> systémisme/réductionnisme. | 192 |
| Figure 22: Le « chat de Schrödinger » selon l'interprétation d'Everett des mondes multiples (MWI). extrait de http://podcastscience.fm en septembre 2014. | 205 |
| Figure 23 : Options philosophiques associées aux objets de la physique (Besnier 2006) | 228 |
| Figure 24: Représentation des relations entre <i>themata</i> issue de l'étude des corrélations thématiques les plus significatives. | 247 |
| Figure 25 : Système de relations entre connaissance, mouvement, chaleur et matière (Besnier 2006)..... | 248 |
| Figure 26: Adhésion des physiciens aux différents couples thématiques. Les données sont issues des analyses du chapitre IV. | 277 |
| Figure 27: Adhésion des physiciens aux différents <i>themata</i> . Les données sont également issues des analyses du chapitre IV. Mais la présentation est différente, on figure les <i>themata</i> plus que les couples de thématiques et l'échelle est de 0 à 1, au lieu de -1 à 1..... | 278 |

Figure 28: schéma du rôle des *themata* dans les choix d'interprétation de la théorie quantique.
..... 279

LISTE DES ANNEXES

| | |
|--|--|
| Annexe 1. Deux entretiens retranscrits en guise d'exemple | |
| Annexe 2. Table des réponses condensées, physicien par physicien | |
| Annexe 3. Table des <i>themata</i> | |
| Annexe 4. Déroulé des entretiens, hésitations de recherche, élaboration des questions..... | |
| Annexe 5. Interpretations of quantum physics: its history and concepts through the use of <i>Themata</i> | |
| Annexe 6. Quelques éléments de physique quantique | |
| Annexe 7. Les différentes interprétations de la théorie et le rôle de l'observateur..... | |
| Annexe 8. Eléments concernant les « physiques védiques » | |
| Annexe 9. La science et ses valeurs : enjeu d'émancipation dans l'Inde moderne..... | |
| Annexe 10. Point de vue des physiciens rencontrés sur les problèmes de la recherche | |
| Annexe 11. Observations à propos de la jeune génération de physiciens indiens | |
| Annexe 12. Perception de la science et de la tradition par les physiciens interrogés | |
| Annexe 13. La déraisonnable efficacité des mathématiques : éléments de réflexions et comparaison | |
| Annexe 14. Disciplines et interdisciplinarité : le ressenti des physiciens indiens | |
| Annexe 15. Face à face avec la symétrie : une comparaison entre physiciens indiens et français. | |
| Annexe 16. La pensée indienne ancienne, analogique ? Eléments de réflexion sur la pensée analogique selon P. Descola, appliquée au cas de l'Inde ancienne..... | |
| Table des illustrations des annexes | |

GLOSSAIRE

Glossaire relatif aux sigles des centres de recherche

CERN : Centre Européen pour la Recherche Nucléaire

CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique IUCAA : Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics

IIT : Indian Institute of Technology

TIFR : Tata Institute of Fundamental Research

Glossaire relatif à la physique quantique

Décohérence quantique : théorie qui tente d'expliquer la transition entre les règles physiques quantiques et les règles physiques classiques par l'interaction du système observé avec son environnement macroscopique.

Effondrement de la fonction d'onde (collapse) ou réduction du paquet d'onde : ces expressions décrivent le fait qu'après une mesure, le système physique voit son état entièrement réduit à celui qui a été mesuré. Immédiatement après la mesure, le vecteur d'état devient égal au vecteur propre relativement à un opérateur donné. Puisque la fonction d'onde décrit une probabilité, on dit qu'elle s'effondre au moment de la mesure, du fait qu'il n'est alors plus question de probabilité.

EPR : le paradoxe EPR, abréviation de Einstein-Podolsky-Rosen, est une expérience de pensée, élaborée par Albert Einstein, Boris Podolsky et Nathan Rosen, qui met en jeu des particules intriquées.

GRW : modèle d'interprétation proposé par Ghirardi/Rimini/Weber dans lequel l'équation de Schrödinger est aléatoirement perturbée, tous les 100 millions d'années environ (pour une particule donnée), par un phénomène qui provoque l'effondrement de la fonction d'onde. Si cette valeur est très grande pour une particule isolée, elle devient très petite pour un ensemble macroscopique.

Modèle standard de la physique des particules : il s'agit d'un modèle qui décrit les interactions fortes, faibles et électromagnétiques, ainsi que l'ensemble des particules

élémentaires qui constituent la matière. C'est une représentation qui s'applique aux objets quantiques et qui tente d'expliquer leurs interactions. Elle est bâtie sur le triptyque particule, force, médiateur.

MWI : Many World Interprétation (interprétation des mondes multiples). Il s'agit d'une formulation par Bryce De Witt de la Théorie des États Relatifs proposée par Hugues Everett.

Onde pilote : la théorie de l'onde pilote ou « double solution » est une interprétation de la mécanique quantique, initiée par L. De Broglie, et développée indépendamment et plus tard par D. Bohm. Dans cette interprétation, la fonction d'onde n'est pas la description complète de l'état du système. Ce dernier est donné à la fois par la fonction d'onde habituelle et par les positions de toutes les particules. Dans cette théorie, les particules sont accompagnées d'une onde qui guide leur chemin, l'onde pilote. L'influence de l'onde pilote se caractérise sous la forme d'un potentiel quantique, dérivé de la fonction d'onde.

Particules ou quanta de champ : pour chacune des forces fondamentales, il existe des particules, dites de champ, supports de ces forces. Certaines peuvent avoir une durée d'existence extrêmement brève et sont observées indirectement par leur action, qui consiste essentiellement à transmettre les forces fondamentales.

Superposition : la superposition en mécanique quantique décrit le fait qu'un même état d'un objet quantique peut être caractérisé par plusieurs valeurs pour certaines observables (spin, position, quantité de mouvement, etc.).

Théorie quantique des champs : cette théorie fournit un cadre pour la construction de modèles quantiques de systèmes que l'on décrirait classiquement par un nombre très grand ou infini de degrés de liberté, à savoir les champs et les systèmes à grand nombre de corps.

Glossaire relatif aux termes sanskrits

Aṇu : « minuscule » en sanskrit. Particule infinitésimale, unité infime de temps ou d'espace. La traduction en « atome » ne rend pas compte du bagage historique et scientifique contenu dans ce mot « atome » ; l'atomisme grec n'est pas assimilable à l'atomisme du Vaiśeṣika, pas plus qu'il ne l'est à l'atomisme moderne, si tant est que ce dernier existe.

Darśana : signifie « point de vue » en sanskrit. Il désigne une école de pensée ou un système philosophique.

Dharma : loi, justesse, vérité, essence, doctrine...

Écoles de pensée classique indiennes : Nyāya, Vaiśeṣika, Sāṃkhya, Yoga, Purva Mīmāṃsā, Vedānta, Bouddhisme, Jaïnisme et matérialisme Cārvāka.

Manas : instance mentale directement en contact avec les sens.

Mokṣa : libération finale de l'âme individuelle du cycle des renaissances

Sūtra : « fil » en sanskrit, s'applique à des écrits rédigés sous forme d'aphorismes.

Upaniṣad : « s'asseoir en bas ou à côté » en sanskrit, c'est-à-dire au pied du sage qui dispense un enseignement. Il s'agit de textes contenant des spéculations philosophiques qui éclairent une partie des Védas (on dit qu'ils en sont la conclusion). Ils auraient été écrits entre 800 et 500 avant notre ère. Certaines hypothèses des écoles de pensée classiques indiennes s'appuient sur des Upanishads.

Véda : « connaissance révélée » transmise oralement depuis une période indéterminée. Les premiers écrits dateraient de 1500 avant notre ère. Ces textes traitent de rituel et de philosophie.

Vega : élan, impulsion, mouvement.

INTRODUCTION

Cette thèse s'intéresse aux présupposés de pensée qui colorent les pratiques scientifiques. La question qui la guide est celle des différences thématiques observables entre physiciens de pays différents: ici l'Inde et la France. Nous nous appuyons sur le concept de « *thema* » (*themata* au pluriel), que Gérard Holton, physicien et historien de la physique, inspiré par la philosophie kantienne, utilisa pour la première fois en 1962 (Holton 1962). En élaborant une recherche sur A. Einstein, il remarqua que ce dernier tenait des positions scientifiques et métaphysiques fermes (comme par exemple le déterminisme) qui semblaient ancrées dans un fond épistémologique personnel. Il analysa aussi les « présuppositions » du physicien W. Heisenberg, en qui il trouva une approche algébrique, matricielle, favorable à la discontinuité, au corpuscule. À l'inverse, chez E. Schrödinger, il décela une approche analytique, favorable à la continuité, à l'onde (Holton 1996 p454). « Comment se fait-il que des scientifiques, ayant largement accès à une information identique, en viennent fréquemment à défendre des modèles d'interprétation radicalement différents ? » se demanda-t-il. « Que recèlent les options manifestement quasi esthétiques de certains scientifiques quand ils jettent une hypothèse ? » (Holton 1981 p26). Ne trouvant pas de concept approprié pour décrire ces « adhésions », il estima qu'elles requéraient un terme propre et il les appela *themata*. Au singulier, on parle de *thema*, le mot vient du grec : « fixe, motif, thèse, topique » (Holton 1996 p456). Les *themata* représentent, selon lui, des conceptions ontologiques invérifiables, implicites qui supportent les tendances du travail scientifique. Il s'agit donc de « croyances ontologiques fondatrices, globalisantes et indémonstrables et le plus souvent implicites » (Holton 1975). Elles se présentent souvent sous la forme de couples d'opposition, par exemple ordre/désordre, continuité/discontinuité, déterminisme/indéterminisme, objectivité/subjectivité, holisme/atomisme, etc. Il s'agit d'adhésions fortes, parfois non conscientes, souvent liées à des

tendances épistémologiques. Ce sont ces *themata* qui vont former le système de cohérence philosophique des scientifiques.

Est-ce que les présuppositions scientifiques sur la réalité – ces *themata* – ont des spécificités et des manifestations différentes selon les pays auxquels appartiennent les scientifiques ? C'est dans le cadre de cette question large que s'insère cette recherche. Nous ne prétendons pas y répondre de manière générale. Nous cherchons plus spécifiquement à étudier un groupe assez restreint de physiciens et à proposer un outil d'analyse que nous appelons les « styles thématiques locaux ». Nous allons comparer les *themata* de physiciens de deux pays différents : l'Inde et la France. Ces pays ont été choisis du fait des grandes différences entre leurs histoires culturelles et savantes. Je les ai choisis également du fait de mon lien particulier avec chacun d'eux, et je me dois d'être honnête sur ces liens. Concernant la France, il s'agit de mon pays de naissance, dans lequel j'ai étudié à la fois la physique, la philosophie des sciences et l'anthropologie. Concernant l'Inde, c'est un pays à la culture duquel je me suis intéressée depuis longtemps, et en particulier à ses différentes philosophies, intriguées par les différentes perspectives qu'elles offraient en comparaison justement avec l'enseignement que j'avais reçu en France. Pourquoi s'intéresser à des pays si différents *a priori* ? Comme le propose le philosophe François Jullien avec son travail sur la Chine, il s'agit, « à partir des écarts, d'accéder aux universaux, de puiser des ressources de façon à produire un commun de l'intelligible » (Jullien, 2012), et en revenant de ce voyage, interroger chez nous ce que nous n'interrogeons pas, ce qui va de soi, les choix implicites à partir desquels nous pensons et que donc nous ne pensons pas. François Jullien parle d'« écarts » plutôt que de « différences » car, pour lui, la notion de différence renvoie à l'identité. Et il n'y a pas à proprement parler d'identité culturelle, car le propre d'une culture est de se transformer. Par contre, il y a des ressources culturelles. Cette distinction nous semble en effet importante.

Nous allons comparer dans cette thèse les *themata* de deux groupes de physiciens, qui sont nés et ont étudié jusqu'au master inclus dans ces deux pays. Concevoir les représentations ontologiques des scientifiques en tant que phénomène comparable entre deux pays ouvre ainsi des questions peu traitées par la sociologie des sciences ou la philosophie des sciences.

Nous formulons la problématique de cette thèse de cette manière : y-a-t-il des différences de *themata* parmi les physiciens indiens et français ?

Afin de mettre en évidence ces *themata*, nous avons choisi de mener des entretiens semi-directifs avec les physiciens, et de nous appuyer sur leurs écrits (articles de vulgarisation, conférences, etc.). Nous avons aussi ciblé le thème de nos questions autour de la mécanique quantique. Cette théorie offre en effet un cadre de mise en perspective particulièrement fructueux des différents *themata* que nous avons sélectionnés : objectivité/subjectivité, continuité/discontinuité, déterminisme/indéterminisme, ordre/désordre, systémisme/réductionnisme.

Notre recherche révèle des différences de *themata* entre les physiciens indiens et français rencontrés, mais aussi parfois, des ressemblances. Devant les différences observées entre Indiens et Français, nous avons cherché des raisons qui pourraient les expliquer. Nous avons aussi cherché à voir si d'autres paramètres comme l'âge ou la discipline de recherche conduisaient à de telles variations, mais ce n'est pas le cas dans les résultats. Qu'est-ce qui peut expliquer les différences thématiques entre physiciens indiens et français sinon une origine culturelle et philosophique différente? Nous avons donc cherché ce qui, dans les cultures de ces physiciens, pouvait entraîner des explications dans les différences liées aux modes de représentations du réel. Pour cela, nous puiserons dans l'histoire philosophique et savante de ces deux pays. Notre recherche se positionne donc sur lien entre formes traditionnelles de connaissance et science moderne.

Nous avons également voulu nous intéresser aux différences au sein de chaque groupe, entre physiciens indiens et entre physiciens français. Nous avons, pour cela, cherché à différencier les types d'arguments mis en avant par les physiciens dans le cadre de chaque *thema*. Ces différents types d'arguments décrivent aussi des spécificités propres à chaque groupe, comme nous le montrerons au chapitre IV. De fait, au sein même de leurs différences, les physiciens indiens et français affichent des spécificités propres à leur origine. Comment cette origine influence-t-elle les physiciens dans leurs préférences thématiques? Nous supposons que l'influence se fait à travers l'école, les codes sociaux, les références littéraires, artistiques ou spirituelles communes. En fait, nous n'avons pas étudié la manière dont cette influence agissait. Nous en observons seulement les résultats et cherchons à en déceler l'origine dans le passé culturel et savant de ces pays.

La comparaison porte donc sur les différences entre *themata*, mais aussi sur l'influence des *themata* dans les interprétations du réel physique, en particulier dans le cadre de la mécanique quantique. Nous évaluons de quelle manière les préférences thématiques influencent (ou non)

les interprétations de la théorie quantique adoptées (ou non) par les physiciens rencontrés. Il existe aujourd'hui différentes interprétations de la physique quantique : l'interprétation de Copenhague, l'interprétation de l'onde pilote, etc. Elles sont plus ou moins connues et plus ou moins plébiscitées par les physiciens. Nous étudions le lien entre ces préférences d'interprétation et les préférences thématiques. Nous observons finalement que ces *themata* influencent les physiciens sur leurs choix d'interprétations de la théorie quantique, mais de manière moindre que bien d'autres paramètres.

Notre thèse est donc que les physiciens indiens et français rencontrés relèvent de *themata* différents, dans le cadre particulier de la physique quantique, qui peuvent avoir une origine culturelle. Par ailleurs, nous observons que ces *themata* influencent parfois l'interprétation que les physiciens adoptent de la théorie quantique, même si cette influence a peu de conséquences sur leur travail.

Cette étude ne cherche pas à mesurer et à comparer l'impact de l'origine sociale sur les performances scientifiques. Elle ne tente pas de comparer les modes de recherche dans différents pays. Elle n'a pas l'ambition de déboucher sur des orientations politiques ou morales autour desquelles devrait se greffer le monde de la recherche. Son objet se situe à l'intersection de l'approche purement philosophique de la description du réel, et celle, socio-anthropologique de la comparaison des phénomènes sociaux.

Résumons donc la problématique de recherche : celle-ci porte sur les rapports entre ce que nous désignons « les *themata* » (représentations ontologiques du réel) des scientifiques, et en particulier des physiciens, et leurs déclinaisons culturelles et nationales. Elle a été abordée à travers la comparaison de deux groupes de scientifiques : les physiciens indiens et français. La mécanique quantique est l'angle principal à partir duquel nous traiterons cette recherche, car ses interprétations sont un support idéal pour évaluer les préférences ontologiques, c'est-à-dire le rapport au réel des physiciens.

Partant du constat que les théories physiques induisent des interprétations et des représentations diverses (Boyer 2011), nous postulons que la France et l'Inde constituent deux systèmes de représentation fondés sur des *themata* différents, présents à travers le système éducatif et le socle de valeurs épistémologiques de chaque pays.

Une telle approche permet de mieux comprendre la manière dont est façonné le regard porté sur la réalité que nous tentons de décrire, d'explorer ou d'expliquer, avec notre connaissance scientifique.

Portée et limites de notre enquête

Notre étude s'appuie sur l'analyse des discours (oraux ou écrits) de 72 physiciens : 35 physiciens français et 37 physiciens indiens (en comptant les premiers entretiens tests). C'est à la fois peu et beaucoup. Peu, car établir une telle conclusion sur la base de quelques dizaines de physiciens semble présomptueux. Et beaucoup, car un plus faible échantillon aurait également permis de déployer une étude. Tout dépend de la profondeur de l'analyse. Signalons deux éléments à ce sujet : l'ensemble des entretiens réalisés représente plus de cent heures de discours enregistrés et analysés, sans compter les articles ou documents écrits. Signalons également que les fréquences de réponses ont très peu évolué dès la barre des 15 entretiens franchis (dans chaque groupe), les proportions de réponses sont restées sensiblement les mêmes. Mais nous reviendrons sur ces questions dans le chapitre III, dédié à la méthode.

Une autre limite de notre analyse concerne la restriction au champ de la théorie quantique. Nous avons volontairement choisi de nous limiter autant que possible à ce champ qui est un excellent révélateur de *themata*. En effet, les questions de débat sur l'interprétation de la théorie quantique sont encore vives et elles convoquent souvent des choix ontologiques comme nous allons le voir. L'enjeu du déterminisme, de l'objectivité, etc. y sont omniprésents. Cette restriction au champ de la physique quantique n'est pas absolue, nous avons aussi abordé différentes questions plus larges de physique, ou plutôt de « métaphysique », dans nos entretiens. Ce choix de se restreindre autant que possible à la physique quantique permet aussi d'aborder la question de l'influence des *themata* sur les choix d'interprétation de cette théorie, qui est une question annexe évoquée plus haut. Le fait d'avoir restreint notre champ d'études thématique à la théorie quantique permet de réduire la portée généralisatrice de notre travail. Ainsi, il n'est pas évident que les physiciens rencontrés adoptent le même genre de postures thématiques dans d'autres contextes. C'est fort possible, mais nous ne le prouvons pas ici. Il est possible que le même genre d'analyse puisse être fait à partir d'autres champs de recherche de la physique ou d'autres disciplines, comme la biologie, mais ces champs seront peut-être moins « ouverts » aux enjeux ontologiques que ne l'est la physique quantique.

La question de la langue est à prendre en compte. Dans la discussion des thèmes les plus conceptuels (le discontinu, la causalité, etc.), il est légitime de se demander si les physiciens indiens ne pensent qu'avec les mots du vocabulaire anglais de la physique ou si leur réflexion personnelle convoque des termes relatifs à leur langue propre. Il faut savoir que les physiciens indiens possèdent des langues maternelles très différentes au sein du groupe interrogé. Certains ont pour langue maternelle le Bengali, d'autres le Maharati, etc., selon leur localité de naissance. Beaucoup parlent mieux anglais qu'hindi, et l'anglais semble être leur langue commune. Par ailleurs, en ce qui concerne le langage de la science, l'anglais est la langue de référence. J'ai évoqué les difficultés posées par ces différences de langue entre Indiens et Français au chapitre III et expliqué que selon moi, elles n'ont pas gêné l'analyse dans la mesure où les concepts étaient explicités et qu'ils étaient assez peu souvent sources de conflit langagier, dans la mesure aussi où il s'agit le plus souvent de concepts du langage scientifique, véhiculé de manière similaire dans les manuels (qui sont très souvent communs aux différents pays, en ce qui concerne par exemple la physique quantique).

Dans l'analyse qui va suivre, une certaine dissymétrie marque la comparaison des physiciens français et des physiciens indiens. Cette dissymétrie est assumée. Lorsque j'ai commencé cette recherche, je ne pensais m'intéresser qu'aux physiciens indiens. Je voulais explorer le rapport entre leurs traditions de connaissances (et représentations du réel associées) et leurs connaissances de physiciens. J'ai donc consacré tout un pan de ma thèse à comprendre et mieux connaître les modes de pensées des traditions savantes indiennes anciennes. Lorsqu'il est apparu qu'il serait opportun d'avoir une comparaison avec un autre pays, la France, il a été difficile de dédier autant de temps à l'analyse historique. D'autant plus qu'une thèse préparée dans une université scientifique française peut faire appel à un savoir plus important de la tradition scientifique française partagée par les lecteurs. Un travail de recherche ultérieur pourrait permettre de rétablir cet équilibre.

La notion d'aire culturelle

Dans ce travail, le concept de « culture » est conçu suivant la proposition de Clanet, c'est-à-dire, comme un ensemble de schèmes interprétatifs qui permettent à chacun, au sein de ce cadre spécifique, de produire et de percevoir les significations sociales de ses propres comportements et de ceux d'autrui (Clanet 1990 p15). Le mot « culture », par sa polysémie, par le nombre aussi vaste de définitions qu'il y a de courants sociologiques et anthropologiques, est « considéré aujourd'hui comme fortement problématique, quand il n'est pas tout simplement utilisé comme

moyen explicatif par excellence » (Brives 2010). Dans son ouvrage *Par-delà nature et culture* (2005), Philippe Descola étudie les schèmes collectifs qui constituent l'un des principaux moyens de construire des significations culturelles partagées. On peut définir les schèmes universels comme des dispositions psychiques, sensori-motrices et émotionnelles, intériorisées grâce à l'expérience acquise dans un milieu social donné. Une règle sociale ou une langue commune facilitent le partage inconscient de ces schèmes au sein d'une société. Notre usage de « culture » se rapproche du concept d'« identité », exploré par (Rouquette 2011) et par (Férreol, Jucquois, 2004). Certes, il existe de très grandes différences au sein d'un même pays entre régions (les différents États de l'Inde par exemple) ou en termes de stratification sociale (en Inde, comme en France). Mais nous supposons qu'il y a des dénominateurs communs. Il faut bien spécifier que la culture des physiciens « indiens » ou « français » renvoie respectivement à une forme d'éducation commune, de culture populaire commune et de croyances partagées qui peuvent conduire à un contexte d'enseignement proprement indien ou français. Il ne s'agit pas de dire que le fait de naître indien induirait une quelconque prédisposition à penser indien ! Nous ne parlons pas d'aspects génétiques, mais d'approches éducatives, de traits culturels et de croyances métaphysiques communes.

Chaque peuplade et culture humaine, qu'elle soit considérée comme « développée » ou « primitive » a derrière elle une longue histoire. Il y a eu entre elles des interactions et des influences, des emprunts, que nous ne pouvons simplifier facilement par le concept de « culture ». Ce qui fait l'originalité de chacune de ces cultures réside, indique Lévi-Strauss, « dans sa façon particulière de résoudre des problèmes, de mettre en perspective des valeurs, qui sont approximativement les mêmes pour tous les hommes : car tous les hommes sans exception possèdent un langage, des techniques, un art, des connaissances de type scientifique, des croyances religieuses, une organisation sociale, économique et politique » (Lévi-Strauss 1959 p50). Les cultures se transforment et évoluent. Elles le font d'ailleurs en partie en se confrontant aux sciences. Nous allons donc effectuer une analyse culturelle même si en apparence nous étudions des pays. En effet, nous avons dû délimiter les cultures indiennes et françaises par des frontières géographiques, dans le cas de l'Inde et de la France, pour davantage de lisibilité. L'unité spatiale délimite en général un « milieu homogène à plus d'un égard : histoire, culture, niveau de développement – autant de dimensions qui peuvent être utilisées comme éléments de contrôle » (Dogan and Pelassy 1982 p136). Cette étude comparative s'insère dans les *area studies* et des *cultural studies* qui privilégient « l'étude d'ensembles culturels relativement homogènes qui ne sont pas définis par la contiguïté » (Dogan et Pélassy, 1982, p143). Il est délicat de considérer la culture indienne -tout comme la culture française-

comme uniforme et unilatéralement partagée. Nous pouvons au mieux parler de l'Inde ou de la France en tant qu'aire culturelle. Le concept anthropologique d'aire culturelle définit un espace géographique et social (territoire) sur lequel se répartissent et s'échangent croyances et objets matériels, rapports sociaux, rituels, systèmes de valeurs, modes de vie partagés entre individus relevant d'une même culture ou de plusieurs et ayant certains points en commun. C'est dans ces aires culturelles que nous situons respectivement les physiciens indiens et français. « La nation comme objet historique ne peut être définie par un empilement de critères matériels. Ni le territoire, ni le peuple, ni la langue, ni la religion, ni les mœurs, ni la durée historique ne constituent des critères décisifs » (Ferreol, Gilles et Jucquois 2004 p1) . Mais l'ensemble peut constituer une unité. Ainsi en France, l'homogénéité culturelle est accentuée par la langue et l'école. Elle véhicule dans son histoire l'idéal universaliste (les hommes égaux en droit...). « L'Inde est davantage orientée vers le communautarisme qui respecte mieux les cultures (la diversité des langues de l'Inde en est un indicateur), mais au détriment de la liberté individuelle, et parfois dans le sens d'une ségrégation » (Ferreol et Jucquois p75). Lorsque nous cherchons à délimiter des groupes de physiciens indiens ou français, nous signifions qu'ils appartiennent à cette aire culturelle. Nous choisissons comme critère d'appartenance que les physiciens de nos groupes aient vécu dans ces pays jusqu'au master inclus. Ceci nous garantit un enseignement commun. L'héritage reçu de sa civilisation peut, bien sûr, être modifié et recouvert chez l'individu-chercheur indien par les cultures spécifiques à sa famille, sa classe ou son appartenance ethnique et peut-être plus encore par ses études et ses voyages dans le monde scientifique international. Mais « La part culturelle de notre identité personnelle, nous disent les neurosciences d'aujourd'hui, est chevillée à notre cerveau » (Kakar and Kakar 2007 p12). Il ne s'agit pas d'enfermer l'Inde ou la France dans des mondes clos, mais d'éviter l'universalisme facile et paresseux qui projette sa vision du monde sur les autres en pensant qu'elle va de soi. Pour le psychanalyste Suddhir Kakar, « un sentiment sous-jacent d'identité indienne existe encore à la troisième ou quatrième génération dans les communautés indiennes éparpillées à la surface du globe » et les composantes de la psyché indienne « sont des éléments constitutifs de l'univers mental des Indiens, que l'enfant assimile dès son plus jeune âge, au contact de ses parents et où il reconnaît la vérité profonde du monde » (Kakar and Kakar 2007 p125).

L'anthropologie des laboratoires, la sociologie des sciences et les comparaisons nationales

Notre travail se situe à la jonction entre la philosophie des sciences et la sociologie des sciences. Il pourrait aussi faire partie de l'anthropologie des sciences, qui se décline plus généralement

en « anthropologie des laboratoires ». Cette dernière discipline s'intéresse aux discours et aux pensées des scientifiques dans les laboratoires qui tirent leur analyse de l'observation de l'activité dans ces laboratoires (Latour and Woolgar 1986). Dans ce domaine d'études, on ne trouve pas non plus beaucoup d'analyses nationales ou de comparaisons entre pays ou entre cultures.

R. Horton se risque à placer face à face la pensée traditionnelle d'un villageois africain et la pensée d'un homme de science occidental. Pour Horton, il y a bien plus de ressemblances entre ces modes, qu'on peut le supposer. Les différences découlent selon lui, du fait que la pensée traditionnelle d'un villageois africain n'admet pas la pluralité des propositions de vérité: il n'y a qu'une vérité possible, qui représente l'ordre, tandis que l'absence de vérité est associée au chaos. Au contraire, selon Horton, un scientifique occidental a conscience du caractère relatif de toutes les propositions de vérité (qui correspondent à des formes d'ordres chacune différentes) et accepte de les mettre à l'épreuve. « It is that in traditional cultures there is no developed awareness of alternatives to the established body of theoretical tenets; whereas in scientifically oriented cultures, such an awareness is highly developed. It is this difference we refer to when we say that traditional cultures are « closed » and scientifically oriented cultures « open » » (Horton 1967 p163). Horton semble donc associer la pensée traditionnelle à l'absence de conscience du caractère relatif de toutes les propositions de vérité. Nous ne pouvons le rejoindre sur ce point, car nous observerons justement au chapitre suivant que la pensée traditionnelle indienne envisage une pluralité de vérités. Ceci montre la difficulté à suggérer des généralités sur ce genre de questions. L'analyse d'Horton peut sans doute paraître quelque peu schématique, mais soulignons qu'il a innové en montrant, à son époque, que ces deux modes de pensée étaient plus proches qu'opposés.

Sharon Traweek a aussi proposé une analyse anthropologique de scientifiques de différents pays. Elle a, par exemple, étudié la vie de laboratoire au sein des accélérateurs de particules (Traweek, 1992 2nd edition) en s'intéressant dans une faible mesure aux différences entre physiciens japonais et américains. Son analyse s'intéresse aux comportements sociaux, et pas aux représentations thématiques. L'approche comparative a été développée dans le cas de disciplines disposant de déclinaisons locales, telles que la médecine (par exemple la médecine ayurvédique indienne (Pordié 2012a)), mais beaucoup moins sur des disciplines *a priori* moins influencées par la culture, dont la physique fondamentale est un représentant.

Citons cependant *La cour des miracles, ethnologie d'un laboratoire japonais* (Houdart, 2008), ouvrage de l'anthropologue Sophie Houdart, issu de sa thèse intitulée *Et le scientifique tint le monde : ethnologie d'un laboratoire japonais du comportement*. Elle y étudie les catégories mobilisées par les Japonais dans leur laboratoire de biologie, et en dehors de leur laboratoire, et les compare aux catégories utilisées par des chercheurs français notamment sur leurs conceptions des rapports à la nature (le mot même de nature se référant à un univers culturel occidental). L'anthropologue utilise l'objet de recherche qu'est la mouche drosophile, pour questionner les relations qu'entretiennent les Japonais et les Français avec la notion d'homosexualité. Houdart nous montre comment la découverte d'une mutation génétique peut être interprétée différemment par les biologistes français et japonais (ces derniers y voyant un comportement homosexuel contesté par les Français). Bien que cette étude ne porte pas spécifiquement sur les différences culturelles par rapport à la science, mais plutôt par rapport à ce que nous appelons la nature, elle est l'une des rares à étudier une influence culturelle sur des interprétations scientifiques. Soulignons enfin un travail récent en anthropologie des sciences, mené par Arpita Roy, auprès des physiciens du CERN. En logeant au sein de la communauté de ces physiciens des particules, elle a observé comment les conceptions courantes de la matière, de l'énergie, de la lumière, découlent d'hypothèses sur la façon dont fonctionne l'Univers. L'asymétrie de la latéralité en chimie – appelée « chiralité » - lui a fourni un terrain étonnamment fertile pour interroger le rôle de la science sur la séparation entre la pensée et la chose, le symbole et la réalité¹ (Roy, 2011). Malheureusement, ce remarquable travail ne s'intéresse pas aux spécificités culturelles de ces physiciens du CERN qui viennent pourtant d'une grande diversité de pays.

En sociologie des sciences, il n'existe pas non plus beaucoup d'analyses sociologiques au sujet des valeurs scientifiques et des styles de pensée scientifiques contemporains dans une démarche comparative entre pays. Lorsque les sociologues des sciences s'intéressent à l'analyse comparative entre pays, c'est davantage pour en dégager des effets politiques ou

1 « La chiralité, ou l'asymétrie latérale est un concept de symétrie, caractérisé par une structure dans laquelle trois facteurs principaux : (a) un objet (phénomène) à l'étude, (b) son image formée en réflexion (transformation) et (c) la conservation de son identité même après la transformation (invariance). L'invariance peut être purement géométrique comme la conservation de la forme géométrique suite à une réflexion, par exemple, les deux mains. Mais il peut être plus important que la simple géométrie, comme la conservation des propriétés dynamiques, tels que la parité. [...] Ainsi, les lois de la physique traitent différemment les objets de latéralité asymétrique contraire: une différence (chiralité), initialement formulée dans la théorie, est transformée en une asymétrie observée expérimentalement (violation de la parité). » (Roy, 2011, p74) - traduction personnelle de l'anglais vers le français. L'auteur précise le but de sa recherche : « Le but principal de cette thèse est de relier les procédures techniques de la physique des particules à cette catégorie de croyances cognitives, que j'appelle ses présupposés. Les présupposés n'appartiennent ni à la science ni à l'art. Ils ne sont pas innés à l'esprit. Pas plus qu'ils ne résultent de l'expérience. Ils sont logiques, mais aussi « pratiques », selon le sens que Bourdieu[1] attribue à ce terme, car ils sont entretenus et cultivés. En dernière analyse, aucune exposition physique ne peut se libérer de ces présupposés métaphysiques. » (p24).

institutionnels : Bartell (2003) a étudié l'internationalisation des universités et ses déclinaisons locales, Kaiser et ses collègues (2004) ont analysé le jeu de relation entre les facteurs géopolitiques et pédagogiques dans la diffusion des diagrammes de Feynman parmi les physiciens aux USA, au Japon et en Russie. Hanafi (2011) a étudié le système universitaire dans les pays arabes. Irvine et Martin (2015) ont analysé les accélérateurs de particules comme enjeu politique entre la Russie et les États-Unis. Chamak (1999) a comparé les facteurs institutionnels et politiques qui ont permis l'émergence des études cognitives aux États-Unis et en France. Toren (1983), quant à lui, a dégagé des spécificités liées à des valeurs : il a examiné les attitudes des scientifiques russes et américains émigrés en Israël et a révélé que certaines valeurs attachées au travail du chercheur - comme le fait de « contribuer à la société » - sont conçues dans des cadres différents suivant le contexte culturel national. (Helmreich 1998) a étudié les valeurs de « maîtrise », de « survie » ou de « reproduction » parmi les scientifiques travaillant sur l'algorithme du code génétique. Il montre que ces valeurs résonnent avec les valeurs judéo-chrétiennes de la culture laïcisée hétérosexuelle américaine et européenne blanche de classe moyenne (Rouse 1993).

En analysant les courriers adressés au journal indien *Curent Science*, Dubois (2015) décrit la manière dont certaines problématiques de la communauté scientifique internationale sont implémentées dans un contexte spécifique national et culturel, par exemple, l'évaluation par les pairs (p37). Khosrokhavar et ses collègues (2007) ont aussi souligné la difficulté à mettre en place une telle évaluation dans un pays comme l'Iran.

C'est donc au croisement de ces démarches complémentaires que se situe notre travail.

Élaboration du concept de « style thématique local » (STL)

Si la culture nous intéresse dans une analyse sur l'universalité des sciences, c'est parce qu'il est communément admis que la culture est par essence relative, et il se trouve que la science, bien que faisant partie de la culture, est communément considérée comme unifiée et universelle. En choisissant de comparer des physiciens plutôt que des scientifiques d'autres disciplines, nous avons volontairement choisi une branche de la science considérée habituellement comme dégagée des paramètres culturels, car elle est engagée dans une compréhension du fonctionnement des lois universelles. Nous intégrons notre analyse aux différents travaux portant sur l'analyse des spécificités culturelles en anthropologie et en philosophie des sciences. Nous rapprochons en particulier dans ce contexte l'existence de préférences thématiques propres à chaque pays à la notion plus large des « styles locaux en science ». Ces styles locaux,

déclinés par certains auteurs sous différentes formes (styles de « pensée » scientifique, styles de « recherche », etc.) feront l'objet d'une courte synthèse des travaux existant, dans le chapitre I, afin de situer l'outil que nous avons élaboré. Cet outil, nous le nommons « style thématique local » (STL), puisqu'il s'agit bien pour nous d'un style de pensée scientifique avec des déclinaisons géographiques (locales), et puisque sa spécificité est de se décliner sur les *themata*. Nous allons montrer que chaque scientifique a des préférences thématiques, dont une partie est liée à son origine culturelle (l'autre à son histoire personnelle).

Dans le chapitre I, nous allons ainsi commencer par référencer les différents travaux sur les styles locaux en science, et nous proposerons l'élaboration d'un outil que nous appelons « style thématique local » (STL), pour désigner les modes de pensée et de représentations scientifiques qui s'appuient sur des *themata*, relativement à des cultures locales, nationales. Nous en évaluerons la portée et les limites.

Nous dresserons ensuite, à l'occasion du chapitre II, un court portrait des deux « cultures » concernées, indienne et française, au sujet de leur héritage savant et thématique et de leur situation actuelle dans l'univers de la science. Ce détour par l'histoire des sciences a pour but de rassembler les éléments qui permettraient de justifier les tendances thématiques actuelles des physiciens au regard de l'histoire scientifique et philosophique de leur pays. Cette histoire véhicule-t-elle des préférences d'interprétation du réel ? Les éléments de ce chapitre serviront à alimenter la partie « discussion » qui suivra l'analyse de nos résultats. Il peut être lu de manière indépendante.

Nous présenterons dans le chapitre III la méthode d'enquête menée auprès des deux groupes de physiciens, indiens et français. Nous décrirons les choix effectués pour leur sélection, ainsi que les choix auxquels nous avons été confrontés concernant les questions à leur soumettre. Nous expliciterons les traits spécifiques de chaque groupe enquêté : nombre, lieu de travail, discipline de recherche, âge, univers familial, etc. Et nous envisagerons l'influence possible de ces paramètres sur notre analyse ;

Nous pourrions, à la suite de cela, proposer dans le chapitre IV une élaboration de cinq *themata* que nous avons sélectionnés comme objet de comparaison : déterminisme/indéterminisme, continu/discontinu, ordre/désordre, objectivité/subjectivité, réductionnisme/systémisme.

Nous expliciterons la manière dont nous avons élaboré les questions posées aux physiciens destinées à mettre en lumière leurs préférences thématiques. Nous comparerons les discours des physiciens indiens et français à la fois au niveau des tendances et des postures argumentatives. Nous en dégagerons les principales tendances. Nous allons ainsi montrer que les physiciens indiens et français diffèrent sensiblement sur ces *themata*, sur certains en particulier, comme le *thema* « déterminisme/indéterminisme » (les physiciens indiens sont plus attachés au déterminisme que les Français), le *thema* continu/discontinu (les physiciens indiens ont plus d'affinité avec le discontinu, les Français avec le continu) et ordre/désordre (plus d'ordre pour les Indiens), tandis que les physiciens français restent attachés à l'objectivité (face à la subjectivité des Indiens) et au réductionnisme (face au systémisme).

Nous dédions le chapitre V à l'étude de l'influence des *themata* sur l'interprétation de la théorie quantique. Nous montrerons que ces *themata* sont susceptibles d'influencer l'interprétation de la théorie, mais que cette influence est minimisée par d'autres paramètres.

Nous étudierons les filiations historiques et culturelles pouvant influencer les différences de *themata* entre physiciens indiens et français, dans le chapitre VI. Nous y évaluerons aussi l'influence d'autres paramètres comme l'âge et la discipline de recherche, et nous montrerons que leur influence est minime, comparée à l'influence culturelle. Nous étudierons les corrélations entre les différents *themata* et les différentes réponses aux questions posées.

Nous discuterons nos résultats, dans le chapitre VII, en particulier en questionnant notre posture de recherche. Nous étudierons également les ressemblances des physiciens, au-delà des différences culturelles. Puis, nous analyserons la manière dont les physiciens sont partagés entre plusieurs attitudes de pensée, à travers le concept de « cosmogrammes » que nous empruntons à Bruno Latour (Latour, 2010). Nous interrogerons enfin la situation, dans la recherche internationale, de la tradition et de la modernité des sciences des pays anciennement colonisés.

CHAPITRE I. LES STYLES THÉMATIQUES LOCAUX

« L'activité scientifique vise à acquérir une connaissance fondée en raison, dont la portée soit universelle » (Coenen-Huther, 2002, p221).

Dans ce premier chapitre, nous allons décrire et critiquer l'outil que nous proposons d'élaborer pour la comparaison des physiiciens indiens et français : les « styles thématiques locaux » (STL). Nous allons le comparer aux différents outils existants relatifs aux *themata* d'une part, et d'autre part, aux styles de pensée scientifique qui décrivent des particularismes locaux ou nationaux. Nous allons ensuite évaluer la portée et les limites de notre propre outil « style thématique local ».

Comme la question des particularités culturelles locales ou nationales s'insère dans le débat plus général de l'universalisme scientifique, nous allons commencer ce chapitre en présentant brièvement le débat plus vaste de l'universalité en science, dans son rapport avec la question des styles locaux. Nous ne prétendons pas résoudre ce débat. Nous cherchons simplement, pour commencer, à situer notre outil d'analyse au sein de ce débat.

I.A. L'UNIVERSALISME SCIENTIFIQUE CONTRE LES PARTICULARITÉS LOCALES ?

Emile Durkheim s'intéresse dès la fin du XIX^e siècle, à la question de l'universalisme scientifique, qu'il entend comme la validité de la science pour tous les hommes, quelle que soit leur origine. Durkheim souligne le caractère désincarné et universel de la science, par rapport à la connaissance populaire, la pensée politique, la religion ou l'idéologie. Il oppose la marque locale portée par ces dernières connaissances à l'universalité de la science. La vérité et la science moderne, pense-t-il, sont indépendantes de tout contexte local (Durkheim 1899). Durkheim

défend le rationalisme scientifique et l'idée qu'il existe une vérité qui n'est pas dépendante des contextes culturels et qui exprime une réalité indépendante. Pour lui, chaque culture dispose d'un réseau de logiques et de concepts autoréférentiels, fondés dans la réalité de leur cadre social respectif, mais les « représentations scientifiques » qui expriment les vérités scientifiques, sont soumises à une vérification plus rigoureuse, et donc sont plus parfaites et fiables, même si les représentations qui les expriment ne seront jamais qu'approchées. Trouver dans le langage scientifique une réalité indépendante des hommes et des cultures contextuelles a été une motivation pour nombre d'intellectuels de la fin du XIX^e siècle, qui voyaient en la science un instrument pour une humanité plus éclairée et accomplie. Avant la Seconde Guerre mondiale, le Cercle de Vienne qui comprend des intellectuels - sociologues, philosophes, physiciens, mathématiciens - comme Hahn, Schlick, Frank, Neurath, entreprend de systématiser l'entreprise scientifique. Celle-ci doit consister à formuler un langage qui reconstituerait le monde, de manière universelle. En 1929, est publié leur manifeste programmatique, le *Wissenschaftliche Weltauffassung* : un projet anti-métaphysique, accordant le privilège aux faits et aux expériences et visant par là même l'unité de la science. Cette démarche n'est pas indépendante de la situation politique du début du XX^e siècle, en particulier en Allemagne : pour l'historien contemporain Peter Galison, « Le mouvement pour l'unité de la science a eu plusieurs buts pratiques et matériels, qui incluaient la survie d'un esprit d'enquête libre et indépendant pendant l'oppression totalitaire ». Revendiquer l'importance d'une unité était étroitement lié à un projet de nature politique : « pendant l'entre-guerre, contre le développement du fascisme, la désintégration de l'Empire des Habsbourg, et la tension croissante entre les États, un mouvement se ressembla derrière l'Unité de la science » (Galison 1996 p1). Ceux qui plaidaient l'unité de la science espéraient ainsi préserver le monde contre la vague du fanatisme. Plus tard, en 1942, et dans un autre contexte, le sociologue américain, Robert K. Merton, publie un article d'abord intitulé *Science and Technology in a Democratic Order* puis connu sous le nom de *The Normative Structure of Science*. Il y situe l'universalisme au rang de l'une des quatre normes qui constituent ce qu'il appelle l'Éthos de la science (Merton 1942). Ces normes sont censées guider les pratiques des individus et assurer à la communauté son autonomie. L'universalisme, pour Merton, consiste à soutenir que les connaissances scientifiques doivent être considérées indépendamment de leurs producteurs. Mais cet objectif n'est-il pas qu'un pur idéal ? La question de l'universalité de la science faisait partie d'une démarche plus générale de démarcation de la science : qu'est-ce qui est scientifique et qu'est-ce qui n'est qu'un savoir ? D'autres tentatives de normalisation et de discrimination de la science se développèrent comme par exemple le falsificationnisme de Karl Popper ou la

rupture épistémologique de Gaston Bachelard. Les thèses de ce dernier, et plus globalement celles de l'épistémologie française qui lui a fait suite « défendent le principe que faire l'histoire des sciences c'est faire l'histoire du rapport progressif de l'intelligence à la vérité [...]. En d'autres termes, c'est se centrer sur le « surrationalisme » des savants » (Pestre, 1984 p6). Ces tentatives de normalisation de la science, si elles ne se fondèrent pas spécifiquement en rapport à la question de l'universalisme, se basèrent néanmoins sur le principe d'une connaissance se situant au-delà de l'individualisme des savants. D'autres historiens ou sociologues des sciences comme Alexandre Koyré ou Paul Forman cherchèrent au contraire à démêler dans le discours scientifique différentes formes de rationalités issues de représentations culturelles plus vastes. Koyré évoquait les déterminations socio-mentales extérieures qui marquent l'avancée des sciences : « il est essentiel de replacer les œuvres étudiées dans leur milieu intellectuel et spirituel, de les interpréter en fonction des habitudes mentales, des préférences et des aversions de leurs auteurs » (Koyré 1973 p14). Dans les années 1970, les sociologues issus des écoles dites de Bath et d'Édimbourg se sont regroupés autour du projet d'étudier les sciences en prenant en compte non seulement ce qu'il était convenu de nommer les « facteurs externes », mais aussi le contenu même des productions scientifiques, tentant de mettre en œuvre les principes énoncés par David Bloor en 1976, et connus sous le nom de « programme fort »². Une sensibilité non universaliste découle des travaux de sociologues des sciences comme Barnes (1991), qui s'appuient sur l'œuvre de Thomas Kuhn. Leurs travaux s'intéressent à la manière dont les connaissances scientifiques étaient produites, maintenues et transmises. La science n'est pas pour eux conceptuellement et méthodologiquement unifiée, comme certains penseurs du XVII^e siècle l'avaient proclamé ; elle s'affiche comme une variété de pratiques dont l'identité conceptuelle est le résultat de modèles locaux d'enseignement, de mise en contact d'individus, dans des lieux de socialisation. La science n'était plus seulement connaissance, mais objet d'échanges par des individus dans des lieux spécifiques. Ces philosophes ont néanmoins insisté sur le contexte de la transformation et de la justification d'une idée en connaissance – qui était pour eux une question de raison et de logique et donc se situait hors contexte local. Il restait donc une dimension universelle à la science. C'est à l'encontre du point de vue universaliste que le point de vue local sur la science s'est développé plus intensément à partir du début des années 1970.

² Ce « programme fort » est structuré autour de quatre principes : la causalité, la symétrie, l'impartialité et la réflexivité.

I.B. LES « STYLES LOCAUX » EN SCIENCE : DIFFÉRENTS PARTISANS, DIFFÉRENTES ÉCOLES DE PENSÉE

Il existe des travaux sur les styles nationaux en sciences ((Buckle 1903) ou (Merz 1965)) qui se font plus nombreux dès les années 1970. On trouve, par exemple, un corps de travaux détaillé sur les sciences écossaises à l'époque des Lumières (Christie 1974). Ou plus récemment, des travaux sur les pratiques d'ingénierie entre la France et les États-Unis au XIX^e siècle (Kranakis 1989). Ces études font partie d'un intérêt pour les styles nationaux de recherche européens au XIX^e et XX^e siècle, qui ont en outre comparé, par exemple, le style écossais contre le style anglais des mathématiques et de la physique (Davie 1961) ou les styles allemands contre les styles américains en génétique (Harwood 1993). La démarche de ces « styles locaux » est de mettre à jour des éléments distinctifs pertinents susceptibles de caractériser de manière homogène des groupes de recherche locaux dans le même champ disciplinaire. Par « local », on peut entendre un pays, une région, ou même un réseau de laboratoires connectés entre eux. « Si, par exemple, la physique, la chimie, la biologie présentent de tels caractères distinctifs dans deux pays, et si on peut le prouver par l'usage d'une méthode comparative, alors, l'hypothèse d'un style scientifique national est bien établie » écrit Jean Gayon, dans un article de 1996, *La catégorie de styles en histoire des sciences* (Gayon 1996). Dans cet article, Gayon dresse un remarquable état des lieux des travaux sur la catégorie en histoire des sciences où il montre que les travaux sur les spécificités nationales sont rares, intéressants, mais aussi délicats. Nous verrons plus loin pourquoi c'est en effet le cas.

Les « styles de pensée » de Fleck

Ces « styles locaux » se rapprochent des « styles de pensée » proposés antérieurement par Fleck. Ce médecin, biologiste et sociologue est l'auteur d'un ouvrage intitulé *Genèse et développement d'un fait scientifique* (1935). Il y démontre que tout objet scientifique émerge au sein de ce qu'il appelle un « style de pensée » (*Denkstil*). Ce « style de pensée » correspond à l'ensemble des normes, des principes, des concepts et des valeurs relatifs aux savoirs et croyances à une époque donnée. Ce concept peut donc être comparé à ce que l'on appelle un « style » en art : des règles et des valeurs propres à une époque ou un courant artistique. Fleck s'appuie notamment sur l'histoire de la syphilis pour laquelle il s'aperçoit qu'il s'agit d'un produit culturel, chargé de toutes sortes de représentations collectives concernant le sang ou la sexualité. La différence de notre approche avec celle de Fleck est qu'il estime que chaque « style de pensée » correspond à une époque donnée. Toute connaissance doit être rapportée à

l'ensemble des connaissances propres à une période donnée, ses institutions et les pratiques propres à cette même époque. Nous cherchons, à l'inverse, à établir une continuité entre les époques, mais relativement à une culture donnée, voire un pays quand celui-ci est bien délimité culturellement.

Nous allons ici développer plus spécifiquement les styles nationaux, qui forment le cadre dans lequel se situe notre recherche.

Les styles de pensée scientifique de Harwood

Les études historiques sur les « styles » en science se sont intéressées également à des époques plus récentes, et ne se sont pas concentrées sur l'opposition entre deux pays, mais ont cherché à révéler des « formes de pensée » révélatrices d'un pays à une époque donnée. Ainsi, par exemple, Jonathan Harwood qui, en 1993, publie *Styles of scientific thought*. Cet ouvrage décrit la manière dont, après la première guerre mondiale, en Allemagne, la communauté scientifique et universitaire dominée par les mandarins (de la vieille école), commença à accueillir des *outsiders*, d'abord dans des institutions de style moderne, comme le collège d'Agriculture de Berlin, puis dans des institutions plus traditionnelles de biologie ou au sein de l'université. Les *outsiders* avaient une approche culturelle, scientifique et politique différente de celle des mandarins. Ces derniers définissaient les frontières de leur discipline de manière très large, en cernant les problèmes centraux de la théorie biologique du tournant du siècle. Gardant l'idéal de la *Bildung*, ils n'étaient pas seulement inquiets de la spécialisation des sciences en disciplines, mais aspiraient aussi à un haut degré de développement des arts et des humanités. Du fait du caractère « englobant » des mandarins, combiné à leur culture apolitique, Harwood appelle leur style « compréhensif ou globalisant ». Les *outsiders*, par contraste, étaient indifférents à cet idéal et aux aspects métaphysiques corrélés, ils concevaient aussi leur domaine d'étude (la génétique) comme une discipline étroite, montraient peu d'intérêt pour la culture et la philosophie, et étaient par contre soucieux de s'aligner avec une organisation politique ; ils représentent ce que Harwood appelle le style de pensée « pragmatique ». Le débat au sujet de l'héritage cytoplasmique dont le problème central était la relation entre les gènes chromosomiques et le cytoplasme avait, d'après l'auteur, des ressemblances avec la relation qu'ils entretenaient avec le gouvernement de la république de Weimar. La théorie du plasma décrivait la relation entre le noyau et le cytoplasme d'une manière similaire à la forme d'ordre politique des mandarins, dénoncée par les *outsiders*. Selon Harwood, les mandarins et les *outsiders* adoptèrent des positions scientifiques sur le cytoplasme en fonction de leurs idées politiques : hérédité cytoplasmique contre monopole du noyau. Harwood s'intéresse aussi à

l'acceptation de la mécanique quantique dans les années 1920, aux États-Unis. Au contraire de leurs homologues allemands, explique-t-il, les physiciens théoriciens américains n'étaient pas perturbés par les problèmes philosophiques que l'interprétation de Copenhague³ semblait poser. Par exemple, la nature abstraite et non représentable du monde microphysique ou l'inséparabilité du sujet et de l'objet n'étaient pas problématiques à leurs yeux (Harwood 1993 p360). Pour eux, le rôle de la théorie était de décrire plus que d'expliquer. De ce point de vue, les théories mathématiques étaient toutes acceptables. Certains parlent de « la non-interprétation de Copenhague » pour décrire cette forme de pragmatisme. Cette attitude a des points communs avec l'indifférence à la métaphysique des généticiens allemands de style pragmatique. D'après l'historien des sciences J. Heilbron, le physicien N. Bohr et les autres partisans de l'interprétation de Copenhague tentèrent de tourner cette interprétation en une philosophie de vie (Heilbron 1986 p217-219). D'après cet historien, ils le firent pour une raison psychologique : quelque chose de particulier dans l'esprit de ces physiciens les rendait sensibles à cette forme de pensée qui considère que parler d'objets indépendamment de toute mesure n'a pas de sens. Et pour Harwood, le comportement de Bohr doit être vu comme une des tentatives innombrables par les Mandarins d'attribuer une portée spirituelle aux découvertes scientifiques. Harwood estime aussi que le Cercle de Vienne était allergique à l'interprétation de Bohr de Copenhague du fait de ses sympathies gauchistes et libérales et de ses suspicions envers la philosophie métaphysique de Bohr. Leur hostilité envers cette interprétation est celle d'outsiders académiques face à l'idéologie mandarine (Harwood 1993 p361). Nous synthétisons, dans le tableau 1 ci-dessous, les différents styles de pensée scientifique proposés par Harwood. Une caractéristique de ces styles est d'être construits sur des aspects politiques et culturels.

| | | |
|---|--|-------------|
| Style de pensée scientifique Aspects étudiés par Harwood | Compréhensif, englobant | Pragmatique |
| Ouverture conceptuelle | Holiste, cultivé, interdisciplinaire, généraliste | Spécialiste |

³ Cette interprétation considère que dans le monde atomique on ne peut plus considérer que l'influence de l'appareil de mesure sur l'objet mesuré est négligeable.

| | | |
|---|-----------------------------|-------------------|
| Ambition intellectuelle | Métaphysique | Utilitariste |
| Implication politique | Non politisé | Politisé |
| Rôle des mathématiques | Modèle de l'esprit | Utilitaire |
| Rapport à l'imagination | Importance de l'imagination | |
| Interprétation en mécanique quantique | Bohr | Copenhague |
| Épistémologie | Réalistes | Instrumentalistes |
| Figure représentative en physique | Planck | Mach |
| Conception de la fonction universitaire | Sage | Expert |

Tableau 1 : Synthèse des deux styles de pensée scientifique proposés par J.Harwood (1993).

Les styles et méthodes de pensée de Crombie

Un autre auteur qui s'est intéressé aux styles scientifiques est l'historien des sciences, A. C. Crombie, qui synthétisa six « styles de pensée scientifique dans la tradition européenne » dans son ouvrage du même nom (Crombie 1994). Il s'agit en fait davantage de méthodes que de « styles » tels que nous venons de les décrire :

- la méthode de postulation qui consiste à prouver déductivement à partir de principes explicites ;
- l'argumentation expérimentale qui élabore des postulats en s'aidant de l'observation et de la mesure ;
- les modèles analogiques qui utilisent des propriétés connues en vue d'expliquer des propriétés inconnues ;
- la taxonomie, qui consiste à classer des objets, phénomènes ou propriétés en catégories ; l'analyse probabiliste et statistique ;
- la méthode de la dérivation historique.

Les styles méthodiques de Crombie peuvent éventuellement s'exclure, mais la plupart du temps, l'histoire des sciences montre qu'ils se sont combinés. Par exemple, la physique mathématique combine souvent les trois premiers ; la théorie darwinienne de l'évolution combine les trois derniers. Pour Jean Gayon, ces « styles de pensée scientifique » dans la tradition européenne proposés par Crombie se caractérisent par des techniques de stabilisation, essentielles à l'accréditation sociale des théories (Gayon 1996 p19).

Les styles de raisonnement de Hacking

L'historien et philosophe Ian Hacking s'est lui aussi fortement intéressé aux styles, et propose quant à lui des « styles de raisonnement » et insiste beaucoup pour dire qu'il ne s'agit pas des « styles de pensée ». Voici ce que dit Hacking concernant les différences de ses « styles de raisonnement » avec les « styles de pensée » de Crombie : « A notre avis, le « style 2 » de Crombie (c'est-à-dire l'exploration et la mesure expérimentale des relations observables), a été transformé par l'émergence du laboratoire. Dans le laboratoire, on explore, on mesure, on observe des phénomènes, certes, mais on produit aussi des phénomènes, au sens où on crée souvent des phénomènes absolument nouveaux. On produit des phénomènes, on les explore, on les mesure, avec des instruments et un appareillage construit dans et pour le laboratoire. À la suite de S. Schaffer et S. Shapin [Hacking fait référence à l'ouvrage de Schaffer et Shapin *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life* (Schaffer and Shapin 1985)], nous choisissons le laboratoire de Robert Boyle comme paradigme, mais le héros, pour nous, n'est pas l'homme, mais l'instrument, la pompe à air. La dénomination de Crombie « style de pensée scientifique » nous convient quand il s'agit de faire référence à ses styles ou méthodes. Le cadre que nous posons est un peu différent, moins continuiste, moins lié à des racines remontant à l'Antiquité. Aussi, pour une simple raison de commodité, nous parlerons désormais des styles de raisonnement scientifique. Le changement de nom importe peu. « Raisonnement » pourra sembler moins intellectuel que « pensée », avec davantage de connotations liées à la recherche et à la découverte. Voici une liste provisoire des styles de raisonnement scientifique, semblable à la liste de Crombie. Les noms sont toujours arbitraires, visant à être plutôt des aide-mémoires que des descriptions précises :

- 1) Les mathématiques (1a) le style géométrique (1b) le style combinatoire.
- 2) Le style du laboratoire (des instruments, de la création des phénomènes, de la mesure).
- 3) Le style galiléen (de la modélisation hypothétique).
- 4) Le style taxinomique.
- 5) (5a) Le style des probabilités, (5b) Le style statistique.
- 6) Le style « historico-génétique » » (Hacking 2003 p542).

« Modes particuliers de pensée, les isomorphènes » de Lewis. S. Feuer.

Dans son ouvrage *Einstein and the Generations of Science* (1974) traduit en français sous le titre *Einstein et le conflit des générations* (Feuer 2005), l'historien des sciences Lewis S. Feuer

défend l'idée que les savants ont un un mode particulier de pensée, un « isomorphème » qui reste invariant sous des utilisations diverses. Il étudie ainsi des communautés intellectuelles de savants afin de déceler leurs émotions partagées et la manière dont celles-ci influencent les théories qu'ils élaborent. Feuer tente par exemple de retracer les influences sociologiques qui ont agi sur la pensée du jeune Einstein quand il pensait la théorie de la relativité à Zurich puis à Berne où il fut employé au Bureau des brevets. Einstein était à cette époque entouré de jeunes réfugiés révolutionnaires et socialistes venus de toute Europe qui discutaient les idées de Mach, de Marx ou de Veblen. Pour Feuer, ce cercle formait une contre-culture iso-émotionnelle qui défendait des idées révolutionnaires au sujet du relativisme des lois sociales et physiques. Feuer fait un parallèle entre le cercle suisse d'Einstein et les milieux de Cambridge et de Paris où travaillaient à la même époque Russell, Whitehead Keynes d'une part et Poincaré de l'autre. Le cercle britannique était platonicien, absolutiste et antimarxiste. Ce qui est cohérent selon Feuer avec le fait que Russell ne put comprendre la remise en cause des notions d'espace et de temps absolus. En ce qui concerne Poincaré il était le représentant typique de l'Académie des sciences, un homme qui ne pouvait contester les fondements du vieil édifice newtonien. Dans sa critique de l'ouvrage de Feuer, Gérard Lemaine estime que la sélection des savants choisis par Feuer n'est pas neutre. « Pourquoi ne citer que Poincaré et pas Brillouin par exemple ? » (Lemaine 1979). Feuer s'intéresse par ailleurs au conservatisme scientifique de la France qu'il explique par le fait que l'administration française était ouverte au talent des jeunes ingénieurs (de l'école polytechnique par exemple).

Feuer s'intéresse à l'influence de la nationalité des scientifiques, dans la mesure où chaque pays a pu développer une plus ou moins grande réceptivité à certains courants de pensée. Il attribue ces différences à des facteurs spécifiques comme le rôle de l'administration dans chaque pays, mais également et surtout au regroupement d'étudiants et d'intellectuels qui discutaient beaucoup de philosophie et d'épistémologie. Selon les pays, ces regroupements développaient des « lignes iso-émotionnelles » différentes. Ainsi, si « Einstein et ses amis étaient des réfugiés marginaux Bohr et les membres d'Ekliptika étaient des Danois sportifs, dit-il, et bien intégrés à leur société d'origine) qui restèrent dans leur patrie et s'identifièrent à elle » (Lemaine 1979). Feuer estime donc qu'il existait des courants intellectuels distincts de lignes iso-émotionnelles qui ont différencié localement la vie intellectuelle et scientifique européenne au XXe siècle.

Nous n'avons pas autant d'ambitions que Feuer vis-à-vis de notre outil « style thématique local ». Nous ne prétendons pas prouver que ces styles thématiques locaux influencent notablement la recherche scientifique. Nous cherchons essentiellement à les étudier à travers

l'exemple de deux groupes restreints de physiciens, indiens et français. Nous allons donc déjà expliquer de quelle manière nous envisageons de mobiliser ces « styles thématiques locaux » dans le cadre de cette thèse.

I.C. MOBILISATION DES « STYLES THÉMATIQUES LOCAUX » DANS LE CADRE DE CETTE THÈSE

Nous avons évoqué le concept de *themata* en introduction. Nous pensons que les préférences thématiques des scientifiques peuvent constituer des styles de pensée scientifique. Ils constituent un « style thématique ». Pourquoi peut-on considérer qu'il s'agit de style de pensée scientifique ? Holton considère que, dans beaucoup de concepts, méthodes, hypothèses ou propositions scientifiques, nous trouvons des éléments agissant comme *themata*, servant de contrainte ou stimulant, pour l'individu, déterminant parfois une orientation ou une polarisation à l'intérieur de la pensée scientifique. « Dans la phase débutante, privée du travail scientifique, des scientifiques, consciemment ou non, ont recours à des présuppositions générales et motivantes ou des hypothèses qui ne sont pas dérivées directement des phénomènes, et ne sont ni prouvables ni falsifiables. Et lorsque leur travail parvient dans sa phase publique, ces motivations ne sont plus visibles »⁴ (Holton 1996 p 455). Heisenberg estimait déjà que « tout le travail scientifique est basé consciemment ou inconsciemment sur une attitude philosophique ; sur une forme particulière de structure de pensée qui sert de fondation solide pour de futurs développements. [...] La plupart des scientifiques sont enclins à accepter de nouvelles données empiriques et reconnaître plus de résultats, pourvu qu'ils entrent dans leur cadre philosophique »⁵ (Heisenberg 1971 p10). Même si chaque *thema* repose à l'origine, sur une dichotomie ontologique, comme le débat déterminisme/indéterminisme, idéalisme/empirisme, etc., les *themata* ne sont pas une doctrine philosophique dans laquelle ne se reconnaîtrait qu'une élite intellectuelle. Ils existent pour chaque individu, et se manifestent dans ses représentations du réel.

Holton, qui s'est penché sur le cas d'Albert Einstein, estime que parmi les *themata* qui l'ont influencé dans son œuvre d'élaboration théorique se trouvent manifestement ceux-ci :

⁴ « During the nascent, "private" period of work, some scientists, consciously or not, use highly motivating and very general presuppositions or hypotheses that are not directly derivable from the phenomena and are not provable or falsifiable. But when such work then is proposed for entry into the "public" phase of science, these motivating aids -which the author has termed thematic presuppositions or thematic hypotheses- tend to be suppressed, and disappear from view ».

⁵ « All scientific work is, of course, based consciously or subconsciously on some philosophical attitude ; on a particular thought structure which serves as a solid foundation for further development.[...]. Most scientists are willing to accept new empirical data and to recognize more results, provided they fit into their philosophical framework ».

- la primauté de l'explication formelle (plutôt que matérialiste) ;
- l'unité (ou l'unification, c'est-à-dire l'aptitude pour les lois, à donner lieu à généralisation),
- l'économie et la nécessité logique ;
- la symétrie ;
- la causalité ;
- le caractère complet ;
- le continu ;
- et, bien sûr, l'invariabilité et l'invariance (Holton 1996 p457).

D'après Holton, ces adhésions expliquent pourquoi Einstein voulut maintenir ses positions même quand les faits semblaient les contredire et pourquoi il s'opposa à la position de Bohr basée sur des présuppositions à l'opposé des siennes : discontinuité, probabilisme, et abandon de la complétude dans la description des phénomènes.

Ces *themata* se situent à la limite entre croyance et connaissance, et sont souvent inconscients (Einstein, lui, en était particulièrement conscient). J.G. Byron estime que la connaissance est souvent perçue comme faisant partie du domaine de la rationalité et de la cohérence, tandis que les croyances sont rattachées à la superstition, l'ignorance ou l'irrationalité (Byron 1994 p17). Les *themata* montrent que la distinction entre les deux est parfois ténue.

Holton distingue trois types de modèles de *themata* :

- Le *thema* conceptuel (par exemple la symétrie, la continuité)
- Le *thema* méthodologique (tel que la préférence donnée à l'expression d'une loi scientifique en termes d'invariance)
- L'hypothèse thématique (un principe englobant tel que l'hypothèse de Newton pour l'immobilité du centre de l'univers ou les deux principes de la théorie de la relativité spéciale) (1981 p40).

D'après Nicolescu, les *themata* alimentent périodiquement les grandes polémiques à l'intérieur de la science (Nicolescu 1988 p28). Les *themata* ont été utilisés comme outils d'analyse dans de nombreuses disciplines⁶ et par de nombreux auteurs. Mais il existe peu d'analyse sur l'origine des *themata* (qu'est-ce qui explique la prégnance de tel *thema* chez tel savant ?), et encore moins sur une analyse comparative entre pays, comme nous proposons de le faire dans

⁶ Par exemple en histoire des sciences par Yehuda Elkana ou Peter Galison, en sociologie des sciences, par Robert K. Merton ou Diana Crane; en biologie par E. O. Wilson; en psychologie par Erik Erikson, Jean Piaget ou Jerome Kagan; en sociologie par Robert Nisbet, Michael Mulkay, Gail Moloney (Moloney, Hall, and Walker 2005) ou Moscovici (Moscovici and Vignaux 1994)

cette thèse. La seule de notre connaissance, réalisée par Gamby-Mas et ses collègues est une étude des représentations de la démocratie, générées par le *thema* « réel/idéal » (Gamby-Mas, Spadoni-Lemes, and Mariot 2012). D'après ces auteurs, les comparaisons systématiques de Brésiliens et de Français illustrent des relations de symétries et d'asymétries, qui sont le seul fait de ce *thema*. Dans le cadre de cette thèse, nous cherchons à savoir s'il existe une déclinaison locale (indienne ou française) de pensée scientifique c'est-à-dire un style local, qui repose sur les *themata*. Si ces « styles thématiques » se déclinent localement, on peut donc les appeler des « **styles thématiques locaux** ». Situons à présent les *themata* parmi d'autres outils proposés par les historiens ou philosophes des sciences.

QUELLES DIFFÉRENCES ONT LES *THEMATA* AVEC D'AUTRES CONCEPTS OU OUTILS SIMILAIRES ?

Comparés aux *catégories* kantienne, qui ne peuvent avoir manqué d'influencer Holton, les *themata* ne sont pas de purs concepts de savoir conditionnés par l'esprit, ils peuvent fluctuer, et dépendre des histoires personnelles des individus (Holton 1996 p460). Ils se distinguent aussi des *paradigmes* de Kuhn : les oppositions thématiques peuvent ainsi continuer à exister même quand les paradigmes évoluent et changent. Les *themata* de Holton peuvent aussi faire penser au *fond de savoir symbolique* souligné par Bachelard (1938) dessiné « à partir des sources profondes de l'activité et de l'imagination ». Mais là où Bachelard en a tiré des « obstacles » au travail scientifique - qu'il s'agit de dépasser - , Holton révèle l'existence de représentations constructives (Berthelot 1990 p150 cité par Quidu 2009). On peut également comparer les *themata* au réseau de croyances de W.V.O. Quine (*web of beliefs*). Dans l'épistémologie proposée par cet auteur – la sous-détermination des théories par les données expérimentales - il existe toujours plusieurs jeux d'hypothèses qui peuvent expliquer avec succès les données observées. Toutes les hypothèses adoptées tacitement, quand le savant traite de nouvelles données, sont décisives dans la décision: « It is in the light of the full body of our beliefs that candidates gain acceptance or rejection; any independent merits of a candidate tend to be less decisive. To see why this should be, recall the characteristic occasion for questioning beliefs » (Quine and Ullian 1978). Ce sont les « croyances » qui font opter pour telle ou telle hypothèse. Ces croyances sont structurées et hiérarchisées en réseau de telle manière que lorsqu'un scientifique est confronté à une donnée qui va à l'encontre de ses croyances, il réarrange son réseau d'une manière minimale de manière à préserver le cœur et la structure principale de ses croyances. L'histoire singulière d'un scientifique et l'environnement socioculturel dans lequel il vit, parmi d'autres facteurs possibles, peuvent avoir contribué à fabriquer ce réseau de

croyances (*web of beliefs*) d'une manière ou d'une autre. Ce système de croyances envisagé par Quine et Ullian est plus vaste que les *themata*, mais il est aussi moins profond. Il est basé sur l'ensemble des croyances qui forgent notre quotidien, mais il est plus variable et évolutif que le socle profond des *themata*.

Un autre outil peut être comparé aux *themata*, il s'agit des *a priori*, une terminologie mise en place par le sociologue R. Boudon, s'inspirant de G. Simmel⁷. Ce sont là encore des croyances, mais elles sont mobilisées dans un raisonnement. Ces *a priori*, explique R. Boudon, constituent « un dénominateur commun de toutes ces notions proposées par la sociologie de la connaissance, par la psychologie cognitive, par la sociologie et la philosophie des sciences, et qui, par-delà le renouvellement incessant du vocabulaire et la diversité des situations considérées, traduisent toutes l'idée que le sujet connaissant aborde le monde en y apposant son empreinte. Je veux parler par exemple de la notion de cadre (*frame*) telle que l'utilise un Goffman, de la notion de forme (*Gestalt*) au sens de la psychologie dite justement « de la forme », des concepts de paradigmes au sens de Kuhn, de « *thema* » au sens d'Holton, ou encore, tout simplement, de la notion de conjecture au sens de Popper » (Boudon 1990, p108). On peut voir dans cette citation d'autres références que nous pourrions rapprocher des *themata* au sens d'Holton et que nous n'avons pas encore citées : le *cadre* de Goffman, la *conjecture* au sens de Popper, etc. Mais ces deux outils ne sont pas aussi proches des *themata* que peuvent l'être les *a priori* au sens de Boudon. D'après Boudon, la mobilisation d'*a priori* est un caractère inévitable de l'activité rationnelle. Chaque histoire particulière d'un scientifique donné ne résulte pas d'un réseau arbitraire de croyance ou d'une mobilisation de n'importe quel *a priori*. S'il mobilise cet *a priori* dans un raisonnement donné, c'est parce qu'il est digne de confiance dans d'autres contextes. Dans chaque discipline scientifique, on peut constater que quelques idées structurent l'histoire entière de cette discipline. Le succès qu'elles ont eu peut avoir atteint dans l'esprit du scientifique un principe régulateur qu'il souhaite préserver, par exemple « le déterminisme » d'Einstein. On peut s'attendre à trouver un nombre limité de ces idées qui régulent et structurent un champ donné de savoir. À la différence des *themata*, les paradigmes de Boudon, ne sont pas réductibles à une opposition binaire, ils sont faits de pluralité et d'une complexité d'interférences. C'est la même chose pour les *schèmes d'intelligibilité* proposés par J-M. Berthelot. Les *schèmes de Berthelot* ne s'excluent pas

⁷ Simmel rajoute aux *a priori* kantien le fait que ses *a priori* ne sont pas des cadres rigides, ils peuvent évoluer. Chacun peut réviser ses *a priori* simmeliens s'il en prend conscience.

mutuellement (les *themata* si : déterministe/indéterministe), ils se combinent. Tirés de sources symboliques plus profondes, les *themata* donnent du sens, tandis que les *schèmes* réalisent une « problématisation » (Berthelot 1990 p161). Notons que la manière d’aborder les *themata* en sciences physiques n’est pas la même qu’en sciences sociales. Les *themata* sont plus souvent épistémiques en sciences physiques, méthodologiques en sciences sociales.

Enfin, nous voyons que les *themata* diffèrent, mais rejoignent les différents styles que nous avons développés plus haut. Nous avons par exemple évoqué des styles qui opposent approche “mécanique/mathématique”⁸ et esprit “abstrait/concret”. Et c’est dans cette mise en relation que se situe notre travail. Nous mêlons *styles* et *themata* pour étudier comme l’explique I. Hacking, « des questions fondamentales et traditionnelles à propos de vérité et de raison »⁹ (Hacking, 2010).

AVANTAGE DES *THEMATA* POUR NOTRE RECHERCHE

Parmi les différents outils présentés, nous avons choisi les *themata* pour faire notre étude de styles de pensée scientifique sur une base culturelle, parce qu’ils nous semblent plus adaptés pour explorer les controverses au sein des théories physiques, comme la théorie quantique. Ils sont un outil utile « to explain why at any given time the choice of problems or the reception of theories may be strikingly different among individuals or like-minded groups who face the same corpus of data. Examples on this point are the early, quite different responses to relativity in Germany, England, France, and the United States of America » (Holton 1996 p456). Les *themata* permettent de mettre en lumière les questions scientifiques controversées du fait de leur présentation par paires opposées, par exemple le déterminisme contre l’indéterminisme. Nicolescu révèle cet avantage : « un *themata* présuppose la séparation, l’opposition d’un des cas d’une alternative par rapport à l’autre cas (« unité » versus « structure hiérarchique », par exemple) », écrit-il (Nicolescu 1988 p28). Cette structure à deux pôles s’avère également pratique pour une comparaison bipolaire entre deux cultures (Indiens/ Français). La dichotomie manque sans doute de complexité, mais elle permet de révéler comme on l’a dit, de grandes tendances.

Par ailleurs, nous allons dans cette thèse nous référer souvent aux interprétations de la théorie quantique. Or les *themata* sont de bons outils pour étudier ce domaine, car des options

⁸ Holton utilise le thema « efficacy of mathematics/ efficacy of mecanist models » comme outil d’interprétation.

⁹ “These distinct styles of scientific inquiry cry out for a cognitive history, an account of how universally available innate capacities were discovered and nurtured at specific times and places, and later came to constitute the ways in which we find out about the world and ourselves. It bears on fundamental and traditional questions about truth and reason. Each style is in a certain sense self-authenticating, in that it brings into being its own criteria for truth, evidence, explanation, and even existence”

ontologiques sont intimement associées aux enjeux de l'interprétation quantique. Comme l'a exprimé le physicien Heisenberg : « I doubt whether the unwillingness of Einstein, Planck, von Laue and Schrodinger, [to accept quantum-mechanical description - in particular the intermittent character and the random (unpredictable) character of the phenomena - as basic] should be reduced simply to prejudices. The word *prejudice* is too negative in this context, and does not cover the situation » (Heisenberg, 1975 p392 cité par Holton 1985 p40). Le concept de *themata* s'avère donc pertinent.

QU'EST-CE QUI INFLUENCE L'ADOPTION PAR TEL SCIENTIFIQUE DE TEL
THEMA ?

D'où viennent les **préférences** thématiques personnelles des scientifiques ? Pour J.-M. Besnier « Les neurosciences ou les sciences cognitives expliqueront peut-être un jour pourquoi certaines valeurs esthétiques sont privilégiées par l'esprit des hommes. Déjà, la *Gestalttheorie* a mis en évidence la prégnance de qualités formelles dans l'expérience perceptive et comportementale. Il y a des constantes structurelles, des « bonnes formes » qui satisfont l'organisme et qui pourraient justifier les options heuristiques qui caractérisent la science depuis les Grecs ; bien sûr parmi elles, le privilège accordé à la simplicité ou à la symétrie dans les démonstrations ou l'élaboration des théories, mais d'une façon générale, la conviction jadis exprimée parmi les Pythagoriciens selon laquelle « tout est arrangé selon le nombre », c'est-à-dire selon des proportions harmoniques ou géométriques. L'esprit scientifique se mesure à l'enthousiasme que suscite en lui la recherche de proportion. [...] Ce que partagent sans doute les scientifiques, c'est leur fascination pour l'ordre et l'équilibre dans les phénomènes [...] » (Besnier & Bitbol 2005 p11). Nous verrons plus loin que cette fascination pour l'ordre et l'équilibre n'est pas également partagée par les physiciens indiens et français.

Des *themata* communs entre scientifiques peuvent venir d'un enseignement commun, d'un parcours universitaire similaire ou de la fréquentation d'un même laboratoire. Les *themata* bien sûr peuvent avoir des liens avec les orientations politiques ou d'autres aspects. Mais notre hypothèse est que les *themata* sont aussi influencés par le fond culturel commun des croyances, imaginaires et représentations traditionnelles et savantes plus anciennes. Les *themata* relèveraient ainsi d'un fond commun de l'imaginaire (de la culture ou des croyances) transmis par l'éducation et l'enseignement. D'autres auteurs ont montré que les *themata* pouvaient relever d'origines théologiques. L'historien D. Funkenstein a étudié la répartition de grands principes ontologiques dans la pensée scientifique du Moyen-Âge en connexion avec les

considérations théologiques. Il n'a pas utilisé le terme de *themata*, mais il a montré par exemple que les principes de *simplicité* et d'*unité* sont les versions séculaires en science d'attributs divins tels que l'omniprésence et l'omnipotence de la providence divine. La *simplicité* et l'*unité* sont considérées comme des *themata* par G. Holton, et nous-mêmes les considérons ainsi. D'après D. Funkenstein, « la science moderne occidentale serait extraite d'un fond commun de compréhension commençant avec les présocratiques » (Funkenstein 1995). La recherche de l'*unité* est par exemple déjà très présente dans la philosophie grecque depuis Parménide en particulier. L'origine culturelle potentielle des *themata* a très peu été étudiée. Berthelot (1990) remarque des formes de *themata* dans « la philosophie antique à partir du moment où le discours sensitif du mythe tend à se substituer à la catégorie du logos ». Certains auteurs se sont intéressés à l'influence des structures culturelles sur l'adhésion à certaines postures épistémologiques, parfois en lien avec les concepts scientifiques. Ainsi, Durand soutient que « toute pensée repose sur des noyaux symboliques généraux qui façonnent inconsciemment la représentation » (Durand 1968 p65). Ces noyaux symboliques constituent autant de « répertoires de sens, de représentations ontologiques structurantes et de lignes d'intelligibilité pour l'activité scientifique ». Il repère l'ancrage symbolique de diverses doctrines, en les rapportant à l'une des trois constellations imaginaires qu'il a catégorisées. « Ainsi, les philosophies idéalistes et dualistes se modèlent à l'occasion de la structure schizomorphe où prévalent les logiques d'analyse et d'exclusion. Les approches dialectiques s'esquissent, quant à elles, en lien avec la structure synthétique. Enfin, la structure mystique inspire les systèmes réalistes, monistes ou immanentistes » (p43). En définitive, des correspondances peuvent être établies entre régimes de la représentation et programmes philosophiques. Une telle connexion affecte-t-elle le domaine scientifique ? M. Quidu l'a montré dans le cas de la recherche sur les sciences du sport (Quidu 2009). Déjà Jung soutenait que « les images qui servent de base aux théories scientifiques se tiennent dans les mêmes limites que celles inspirant contes et légendes » (Durand 1968 p73). C'est pourquoi les *themata*, d'une certaine manière, peuvent trouver un ancrage dans les *archétypes* jungiens. Néanmoins, les travaux sur l'existence de *themata* culturels chez les scientifiques sont très peu développés. Les références pouvant servir de garde-fous ont rares. Dominique Pestre, dont nous avons déjà parlé, dans son livre *Physique et physiciens en France* de 1984, ne s'est pas à proprement parler intéressé aux représentations conceptuelles ou métaphysiques des physiciens, mais aux démarches d'enseignement et de recherche. Son approche est cependant intéressante pour nous, car il estime que l'histoire des sciences doit se préoccuper des aspects non rationnels des scientifiques. « L'ensemble des valeurs relatives à la science et à la pratique scientifique auxquelles croient les physiciens relève

d'une longue tradition transmise depuis l'enfance, acquise à dose homéopathique journalière depuis les bancs de l'école » (Pestre 1984 p173). Il estime que « l'objet de l'histoire des sciences est avant tout de démêler, dans ce que la science dit, dans les formes concrètes des énoncés qu'elle profère, les formes différentes de rationalité qui sont à l'œuvre, les représentations culturelles plus vastes qui les sous-tendent (les substructures psychologiques, dirait Koyré), de façon générale les déterminations socio-mentales extérieures qui les marquent » (Pestre 1984 p6). Dans tous les cas, ce genre de travaux montre que la pratique scientifique ne peut négliger les caractères propres à chaque pays. Notre travail va dans le même sens puisque, rappelons-le, **nous allons montrer que des différences apparaissent entre les représentations du réel des physiciens français et indiens.**

Nous pensons que ces styles thématiques influent toute la pensée d'un individu (comme une idéologie totale selon Mannheim¹⁰) et qu'ils ne se limitent pas à une orientation à l'intérieur de la pensée scientifique, mais nous n'allons pas chercher à le démontrer. Notre étude se limite en effet à l'horizon de la pensée scientifique.

CRITIQUE ET CONTRE-CRITIQUE DE L'OUTIL « STYLE THÉMATIQUE LOCAL » (STL)

Afin de mieux cerner la limite de sa zone de pertinence, nous allons apporter quelques critiques à l'outil que nous avons appelé « style thématique ».

Critique du mot style

Comme le dit Ian Hacking, « le mot « style » a beaucoup d'inconvénients » (Hacking 2003 p544). D'une part il est trop général, et son premier domaine d'application concerne les arts. D'autre part, il suggère que les styles de raisonnement s'excluent mutuellement ». Tout comme Hacking, nous avons retenu le mot parce qu'il était là, et que les autres candidats possibles n'étaient pas absolument meilleurs. Nous avons recouru au concept de « style thématique », pour associer l'idée de style de pensée et de *themata*, et cela permet de mieux nous différencier dans ce concept général de style.

¹⁰ Le sociologue Karl Mannheim (1893-1947), désigne, par le terme d'*idéologie*, une pensée « socialement conditionnée » en particulier dans les conceptions des groupes dominants. Il s'agit d'une intention fondamentale, un principe structurant. Il identifie par exemple deux styles de pensée systématiquement présents dans l'histoire des sciences : un discours ayant inspiré les Révolutions française et américaine, qui se focalise sur la Raison et le libre-arbitre des individus, et un discours conservateur, réactionnaire, né dans l'Allemagne de Goethe, qui se concentre sur ce que les individus héritent de la collectivité (exemple cité par Harwood 1992 p 351).

Limite des *themata*

Une critique à apporter concerne les limites de l'outil et du concept de *themata*. Nous en envisageons différents aspects.

Les *themata* ne concernent qu'une partie du travail scientifique. Ils n'en sont qu'un aspect. Il est difficile de définir quand ils sont réellement effectifs au sein d'un travail scientifique. Il est tout autant difficile de savoir si le travail d'un scientifique aurait différé s'il avait été supporté par d'autres *themata*. L'utilisation de *themata* nous permet seulement de clarifier des tendances. C'est cependant un objectif essentiel dans une approche de sociologie « globale » des sciences, où le but n'est pas d'analyser des aspects visibles, mais des éléments non visibles au-delà des études microsociales ultra-contextualisées. Cet outil conceptuel nous permet de dégager des tendances larges.

Le concept nécessite davantage de recherches spécifiquement sur ce qui fait qu'un scientifique adopte tel ou tel *thema* – ce qui est justement un des objectifs de notre travail. La principale difficulté est d'estimer l'influence des *themata* sur le travail scientifique d'un physicien. Nous ne pouvons guère l'estimer, si ce n'est dans quelques cas particuliers, comme nous le montrerons. Quand nous aurons évalué l'existence de ce style thématique, et s'il s'avère qu'il existe, nous nous demanderons s'il influence l'adhésion des physiciens aux théories scientifiques, en particulier pour nous, l'interprétation de la théorie quantique.

La science au-delà des aspects nationaux

Concernant l'étude nationale ou culturelle de ces styles, une critique peut être apportée. La pratique scientifique n'est-elle pas supranationale au point de placer au second plan les caractères propres à chaque pays ? La recherche s'est largement internationalisée et uniformisée depuis quelques décennies. Il est vrai qu'il est bien plus difficile qu'il y a un siècle ou même cinquante ans de mettre en valeur des socles nationaux de styles scientifiques. Pour Gayon (1996), lorsque les historiens s'appliquent aujourd'hui à établir l'existence d'un style national dans tel ou tel secteur de la science, il doit s'agir surtout « d'identifier les traditions institutionnelles qui expliquent la persistance de styles ou stéréotypes nationaux de comportement scientifique ». À notre avis, certes, les traditions institutionnelles jouent un rôle, mais il nous semble que la culture au sens plus large, avec comme l'appelle Pestre, son « socle archéologique culturel, voire épistémologique » (p323) influence également les attitudes des physiciens, comme l'ont montré les auteurs que nous venons de citer. Certes une société reconnaît plusieurs systèmes de valeurs et il faut envisager une gamme de nuances dans cette trame commune d'adhésions thématiques. Malgré tout, il semble que ce socle « archéologique »

commun induit des rapports différents au réel et aux théories. Notre étude vient argumenter aussi en ce sens.

Est-ce que la relativité des représentations du réel relativise la science?

Le philosophe des sciences Paul Feyerabend considérait que la science était devenue une idéologie (Feyerabend 1979) et que, dans ce sens, il fallait la situer sur le même plan que d'autres idéologies, en ce qui concerne sa capacité à décrire la vérité. Feyerabend estimait que, puisque les scientifiques ne pouvaient parvenir à adopter un point de vue universel qui garantirait la qualité de leurs observations, il n'y avait pas de raison que les assertions de la science soient privilégiées par rapport à celles d'autres idéologies comme les religions. Même si je rejoins Feyerabend quand il estime que l'inspiration du scientifique lui vient au moins en bonne partie du mythique ou du religieux, il ne me semble pas pour autant que la science soit une idéologie. Elle se démarque en effet des idéologies dans le sens où elle est ouverte à la critique et rejette le dogmatisme. Par ailleurs, elle se base sur des expériences. Ces trois points la démarquent pour moi d'une idéologie dont les caractéristiques sont d'être fondées sur un système d'idées imaginées de s'accompagner de croyances et de convictions constituées en doctrine. Ce n'est pas parce qu'ils ne peuvent adopter un point de vue universel que les travaux des scientifiques perdent en validité. Les *styles thématiques locaux* ne viennent pas argumenter pour le relativisme en science. Nous adoptons une posture proche d'Isabelle Stengers (1993), pour qui il s'agit de définir ce qui fait la singularité et l'irréductibilité de la science, tout en se distanciant du positivisme ou du relativisme. Ce qui nécessite, pour Stengers, d'étudier les conditions historiques et politiques de la construction des faits et des raisonnements scientifiques. Je rajouterai aux conditions historiques et politiques, les constructions thématiques (relatives aux *themata*). « Une approche qui permette de créer un espace problématique où la construction de la différence entre science et non-science pourra être suivie » (Stengers 1993 p 77). La distinction entre la science et ce qu'elle refuse d'être ou de devenir (croyance, superstition, erreur) reste à produire en permanence (Lemieux 1995).

Les *themata* ne sont pas des croyances ou des convictions, ils ne sont que des modes préférentiels de représentation. Ils n'invalident pas la validité de la méthode scientifique ni ses résultats.

Le risque idéologique

Autre critique possible à ce type d'analyses : malgré l'éclairage qu'elles apportent, elles risquent de soutenir une idéologie nationaliste. « Les « styles nationaux » de pensée scientifique ne peuvent manquer d'évoquer ce que le dix-neuvième siècle a désigné tantôt comme "esprit" ou "génie" du peuple, tantôt - déjà - comme « unité stylistique » d'une nation. Porté par l'exacerbation des nationalismes, ce genre d'étude est tombé en désuétude au cours du vingtième siècle, pour des raisons qui tiennent à la fois à la critique des idéologies nationalistes et à l'internationalisation de la production scientifique » (Gayon 1996). Pondérons ce propos de Gayon sur le fait que ce genre d'études soit tombé en désuétude, car en fait, il n'a jamais été très développé ! Lorsqu'aujourd'hui les historiens des sciences s'appliquent à établir l'existence d'un style national, il s'agit plutôt d'identifier les traditions institutionnelles qui expliquent la persistance de styles ou stéréotypes nationaux de comportement scientifique. Pourtant, il ne faudrait pas, par peur d'évoquer des tendances nationalistes, se fermer les yeux devant les caractères culturels. La critique élaborée au sujet des risques « nationalistes » des styles nationaux est à prendre en compte. Et c'est pourquoi nous avons choisi de ne pas faire une étude de style national, mais une étude culturelle. Il existe bel et bien des caractères culturels dans chaque pays, et leur diversité est une richesse, qui mérite d'être regardée, étudiée, mise en valeur, pour justement éviter les déviances. Il ne faudrait pas, par crainte de dérives identitaires, renier pour autant l'héritage culturel, car cela peut parfois justement contribuer à créer des dérives identitaires. Il nous semble qu'une étude poussée, sociologique, historique, épistémologique, sur les traditions de savoirs permet de répondre plus positivement aux quêtes identitaires qui fleurissent à notre époque, notamment à la suite des périodes coloniales, mais nous reviendrons sur ce sujet de la colonisation quand nous parlerons du cas de l'Inde. La place de la science est un élément de l'héritage culturel, or, les études sociologiques sur ces pays s'intéressent rarement aux scientifiques. Pourtant, ces scientifiques sont impliqués dans les tensions sur les choix de modernité, car ils ont choisi d'intégrer une collectivité professionnelle internationale dédiée au progrès scientifique et technique tout en appartenant à leur communauté nationale et culturelle. Bien sûr, ce ne sont pas les seuls à être confrontés à ces tensions au sein des pays en développement, mais le fait qu'ils aient fait ce choix leur attribue des spécificités qui rendent leur étude particulièrement intéressante.

La science est internationale

Une autre critique portée aux styles locaux concerne la propagation des savoirs. Si la pensée scientifique possède des spécificités locales, comment peut-elle se propager dans d'autres cultures, s'universaliser ? De nos jours, les collaborations transnationales sont très répandues :

les chercheurs circulent de manière incessante au fil des post-doctorats, des congrès, s'intègrent dans des réseaux sociaux internationaux, si bien que ni les traditions des laboratoires locaux, ni les formes institutionnelles locales et encore moins les cultures locales ne semblent avoir d'influence sur les scientifiques. On peut donc supposer que l'étude d'un style local n'est plus pertinente, n'a plus de raison d'être. D'ailleurs les travaux plus récents existant au sujet de caractères « locaux » de la recherche internationale ne semblent plus vraiment s'intéresser aux styles, à l'anthropologie des laboratoires, mais plutôt aux aspects institutionnels (tels que Shrum et al 2007), aux enjeux de pouvoirs ou d'organisation sociale, aux modes de financement entre pays (par exemple Mallard et al 2009).

Ce qui importe alors, c'est de s'interroger sur les changements de sens subis par de tels éléments, voire sur les permanences. La connaissance scientifique se déplace dans la mesure où elle s'institutionnalise et se normalise. Comme l'ont montré des anthropologues ou des historiens comme Shapin (2014), Latour (1988), ou Law (1987), le graphe, la carte et le livre représentent un ensemble de véhicules pour la traduction efficace des connaissances relativement stable d'un endroit à l'autre; le thermomètre par exemple en représente un autre. Comment une proposition ou une procédure produites dans un endroit vient à se propager à travers le monde ? Une réponse est de considérer que c'est parce que cette proposition est « vraie ». Une autre réponse est d'estimer qu'elle se déplace le long des canaux creusés par des pratiques méthodologiques claires et automatiquement transférables (Shapin 2014). D'une manière générale, à chaque période de l'histoire, et dans chacune des aires culturelles, la science est insérée dans un ensemble culturel de nature organique qui constitue un système. Comme l'explique M.Paty, ce caractère systémique induit la difficulté de concevoir la possibilité de transmission d'un état de science et de culture à un autre, soit dans l'espace pour une période donnée, soit dans le temps, au long de l'histoire : hors de leur système, les éléments qui le constituent changent de sens (Paty 1999). La question de la transmission est au cœur de celle de l'universalité. Concernant la critique – qui est davantage une question nouvelle de recherche – sur la propagation et la transmission des savoirs locaux hors de leur lieu d'origine, nous n'allons pas pouvoir y répondre dans le cadre de cette recherche. Bien que cet aspect paraisse essentiel et intéressant, nous avons préféré circonscrire notre travail à un domaine bien précis, pour éviter la dispersion. Cette étude du « voyage » des styles scientifiques sur la manière dont ils se déplacent, s'institutionnalisent et se normalisent pourrait constituer une prolongation ultérieure de notre recherche. Elle permettrait par exemple d'étudier de quelle manière le « style indien » s'il existe, voyage hors de ses frontières. Les concepts sont nomades d'un champ scientifique à l'autre comme l'a déjà

montré Isabelle Stengers (Stengers 1987). Elle a d'ailleurs souligné que le déplacement de concepts peut engendrer des glissements de sens, qui sont à surveiller de près.

L'autre critique consiste à nier la persistance de traits spécifiques locaux, vu le développement international actuel de la science, et donc la pertinence de ce genre d'études. Nous pouvons aisément souscrire à l'idée que les pratiques scientifiques sont de plus en plus uniformisées à travers le monde. Mais pas forcément les interprétations, les modes d'adhésion aux théories ou aux modèles. C'est un aspect plus abstrait que l'étude des procédés expérimentaux ou celle des validations institutionnelles des découvertes. Mais nous pensons que cet aspect mérite d'être étudié, et une de nos hypothèses de recherche est qu'il se pourrait fort qu'une différenciation existe dans ce domaine, au sein même de la mondialisation des sciences. Et c'est pourquoi nous avons choisi de nous intéresser aux *themata*, ces caractères moins immédiats, moins visibles que les procédures scientifiques directement observables. À l'intérieur même de la pensée des physiciens. En dehors de la mise en perspective d'une variabilité géographique de l'internationalisation des sciences, l'autre intérêt de l'analyse par les styles de pensée scientifique est justement la recherche d'une universalité qui permette l'internationalisation. Chaque physicien apparaît comme un ensemble complexe de valeurs scientifiques partagées, et de valeurs extrascientifiques.

Critique concernant les identités culturelles

Chercher un style thématique aux sciences indiennes et françaises, c'est chercher des éléments distinctifs pertinents susceptibles de caractériser de manière homogène les chercheurs indiens. Une critique légitime est de dire qu'il n'y a pas d'homogénéité chez les Indiens ou Français, donc pas davantage chez les physiciens indiens ou français. Quand on parle de style « indien », est-ce à dire qu'il existe une unité indienne ? L'Inde n'est-elle pas diverse, non réductible à un mode de pensée ? L'héritage reçu de sa culture indienne ou française peut être modifié et recouvert chez le physicien par les spécificités propres à sa famille ou sa classe sociale et par ses études ou ses voyages dans le monde scientifique international. Les physiciens, comme tous les humains relèvent de systèmes de cohérence qui diffèrent suivant les convictions philosophiques ou religieuses, suivant l'éducation reçue, suivant les disciplines pratiquées, suivant les institutions d'accueil, suivant les générations, etc.

Nous pouvons invalider cette critique, en affirmant que, même si des traits spécifiques démarquent les individus, il n'en reste pas moins qu'il demeure un héritage culturel et partagé. Au sein d'une même personne, d'un même scientifique, se trouvent une base culturelle, éducative et une autre, personnelle, liée à sa propre histoire, scientifique et personnelle.

La base culturelle n'est pas absolument unifiée, mais elle possède des traits communs. Et c'est à ces traits que nous nous intéressons. Dans l'exemple de l'Inde par exemple, la civilisation ancienne de l'Inde n'a cessé de connaître des processus d'assimilation, de transformation, de réaffirmation et de renouveau à la suite de ses rencontres avec d'autres civilisations et d'autres cultures, tels ceux que déclenchèrent l'irruption de l'islam au Moyen-Âge et, plus récemment, le colonialisme européen. Cependant, comme le disait Nehru : « L'unité de l'Inde avait cessé de n'être pour moi qu'une idée. C'était devenu une expérience émotionnelle qui me submergeait [...]. Concevoir l'Inde, ou tout autre pays, comme une espèce d'entité anthropomorphique, aurait été absurde, et je m'en gardais bien [...] Mais je pense qu'un pays doté d'un long passé culturel et dont les habitants partagent un même point de vue sur la vie se construit un esprit qui lui est propre et auquel tous ses enfants sont réceptifs, si différents qu'ils soient les uns des autres » (Nehru 2002).

Les « visions du monde », réseaux de croyances et d'attitudes – inconscientes, dans bien des cas – sont communes à un très grand nombre d'Indiens. « Rarement soumis à un examen conscient, cette part culturelle de la psyché n'est ni clairement universelle ni complètement propre à un individu. Représentation mentale héritée de leur culture, ces traits restent pour les Indiens, d'après le psychanalyste Kakar, en dialogue constant avec les parts universelles et individuelles de leur psyché (Kakar et Kakar 2007). A.K. Ramanujan dans son article désormais célèbre *Is there an indian way of thinking* (1989) reconnaît un mode de pensée indien qui perdure même actuellement, ou plutôt des spécificités indiennes, comme par exemple l'importance accordée au contexte, qu'il illustre avec de nombreux exemples issus de diverses sciences comme la grammaire, la médecine, mais aussi la littérature (Ramanujan 1989). Parmi les éléments principaux qui fondent l'identité indienne, Kakar dégage également une pensée relativiste attachée au contexte. « C'est une culture, une nation qui a hissé le relativisme culturel au rang de fétiche » (2007 p12). L'économiste A. Sen dans *The argumentativ India* (2006), met en relief la tradition dialectique et argumentative du pays (p38). Pour le philosophe contemporain Sundar Sarukkai, « Cultural practices that come from day to day life are tacit, people, physicists they are not mindful of it. For exemple, binaries are not so important in India »¹¹. L'individu est pris dans une relativité permanente.

Nous sommes conscients que ces caractères dressés à grands traits risquent de heurter les tenants du particularisme. Mais, tout comme le spécialiste de la psychologie indienne S. Kakar, nous pensons que, « faute d'une vision d'ensemble, quelles soient ses inexactitudes et ses

¹¹ Extrait d'un entretien que nous avons eu en 2014.

éventuelles erreurs de détail, les visions plus étroitement ciblées et locales, si précises qu'elles puissent être, seraient condamnées par leur myopie à ne former qu'un enchevêtrement inextricable d'arbres qui cachent la forêt » (Kakar et Kakar 2007 p12).

I.D. CONCLUSION DE CE CHAPITRE

Nous venons de proposer que les préférences philosophiques des scientifiques sur la structure du réel - que nous avons rangé sous le terme codifié de « *themata* » - rentrent dans la description d'un style de pensée scientifique. Nous avons montré que les styles, de manière générale, pouvaient se décliner selon des paramètres géographiques et culturels, liés aux histoires intellectuelles des différents pays. Nos « styles thématiques locaux » s'intéressent au socle commun qui enracine la réflexion scientifique sur l'univers. Cet outil nous guidera pour catégoriser la partie culturelle de l'esprit qui sous-tend les préoccupations ontologiques du physicien et le guide dans ses représentations de la réalité ainsi que ses choix d'interprétations des théories scientifiques. Nous allons à présent tenter de décrire de qui nous parlons quand nous nous référons aux Français et aux Indiens. Cette étape est importante pour délimiter les spécificités des « styles » thématiques présents dans les cultures indiennes et françaises. Nous pourrions en effet vérifier ensuite si les *themata* que nous trouverons spécifiques aux physiciens indiens et français sont ceux véhiculés dans les cultures intellectuelles de chaque pays.

CHAPITRE II. INDIENS, FRANÇAIS

Pour défendre notre thèse, nous souhaitons comparer les physiciens indiens et les physiciens français du point de vue de leurs *themata* dans le cadre de leur pensée scientifique. Nous allons donc étudier leurs traditions de pensée scientifique du point de vue historique. Pour mieux situer ce que les cultures indiennes et françaises véhiculent en termes de *thema*, il nous faut étudier ces cultures, dans le lien qu'elles entretiennent avec la science et les représentations philosophiques du réel. C'est ce que nous allons présenter maintenant. Nous nous référerons à ce chapitre, dans l'analyse ultérieure des différences que nous observerons entre physiciens indiens et français. C'est la raison qui nous pousse à mettre ce chapitre ici, avant l'analyse. La description des cultures scientifiques indiennes et françaises que nous allons maintenant déployer a pour objectif de permettre au lecteur de se familiariser avec des notions auxquelles nous nous référons dans les autres chapitres. En particulier, les éléments de ce chapitre serviront à alimenter la partie « discussion » qui suivra l'analyse de nos résultats. Il peut donc être lu de manière indépendante.

II.A DAVANTAGE DE RESSEMBLANCES QUE DE DIFFÉRENCES

Dans les pages qui suivent, nous allons présenter des traits spécifiques des pensées savantes indienne et française. Ces portraits à grands traits ne reflètent pas la complexité de ces cultures, ils cherchent simplement à familiariser le lecteur avec certaines spécificités de ces cultures. Il pourra sans doute sembler que ces tableaux cherchent à dresser des différences et rejouent le « grand partage » entre pensée scientifique et pensée traditionnelle ou entre « eux » et « nous », si tant est que l'on puisse décrire qui est « eux » et qui est « nous ». Ce n'est bien sûr pas l'objectif de cette partie. L'observation de spécificités propres à l'histoire savante indienne ou française que nous proposons n'est pas une mise en opposition ou une classification. Il n'y a pas d'un

côté les Français, représentants de la pensée scientifique moderne, et de l'autre les Indiens, héritiers d'une longue tradition aux modes de pensée non scientifiques. La science est une mise en relation des différents modes de connaissance, avec des valeurs épistémologiques propres et marquées par le changement. Quel est ce « grand partage » dont il faut se méfier? Pour citer Gérard Lenclud, « L'ethnologue a toujours eu tendance à essayer de qualifier globalement la différence entre « nous » et les « autres », si divers soient ces autres, entre « nous » et tous les « autres ». Tous ces autres rentreraient dans une même catégorie de sociétés et de cultures, s'opposant en bloc à « nous », formant nous-mêmes un seul type de société et de culture. Ainsi peut se définir sommairement cette tradition ethnologique du grand partage (les Anglais disent *great divide*) consistant à stipuler l'existence d'une ligne univoque de séparation entre deux genres et deux seulement de sociétés et de cultures: sociétés primitives et sociétés civilisées, sociétés simples et sociétés complexes, sociétés traditionnelles et sociétés modernes, etc. » (Lenclud 1996 p12). Il ne s'agit bien sûr donc pas de cloisonner la pensée indienne dans la catégorie « société traditionnelle » et la pensée française dans la catégorie « société moderne » ! Selon nous, les deux sont issues de leurs traditions et de la modernité. Les deux ont des spécificités historiques et des influences modernes et mondiales. Il n'y a pas de société «cloisonnée » ou figée dans son passé.

Si les Anthropologues ont longtemps considéré les « autres » qu'ils étudiaient comme largement différents d'eux-mêmes, ce n'est plus guère le cas aujourd'hui. Les différences sont moins de nature que de choix. Ainsi, Lévi-Strauss, dans *La pensée sauvage* (Lévi-Strauss 1962), estime que la différence de pensée des Indiens (d'Amérique) qu'il étudie ne réside pas dans la nature des opérations mentales qu'elles recèlent, mais dans les orientations qu'elles choisissent. Il y a autant de pensée sauvage en « nous » que de pensée scientifique en « eux », estime-t-il. Les similitudes entre les physiciens indiens et français que nous avons rencontrés sont bien plus importantes que ne le sont leurs différences. Ils déploient les mêmes outils de travail (théories, logiciels, connaissances, etc.), utilisent le même langage (anglais, mathématiques, etc.), les mêmes méthodes, les mêmes outils de diffusion (articles, colloques, etc.) s'intéressent aux mêmes objets de recherche et collaborent ensemble, partagent souvent les mêmes bureaux, à tel point qu'il devient finalement difficile de savoir qui est encore Indien et qui est encore Français.

Comme le suggère Gérard Lenclud, les partages dichotomiques, opérés de nos jours entre « eux » et « nous », ont une fonction essentiellement heuristique ou idéal-typique. Ils servent à faire penser, non à répertorier. « La forme explicite que prend aujourd'hui le grand partage – cette tentation inévitable du métier anthropologique – est celle d'un essai d'instrumentation

conceptuelle bien davantage que celle, issue du passé, d'une tentative pour classer des sociétés réelles. L'anthropologue est cet homme dont la vocation historique est de connaître d'« eux », mais qui éprouve combien est illusoire l'idée de les séparer tous ensemble de « nous » » (p18). C'est dans cette orientation que s'inscrit cette thèse. Les différences observées entre physiciens indiens et français ont avant tout une fonction heuristique, idéale-typique. Elles n'ont pas vocation à répertorier, mais à faire penser.

Une fois ce préalable explicité, nous pouvons entrer dans l'histoire et la géographie de ces deux pays, afin de mieux familiariser le lecteur avec eux. Nous insisterons plus spécifiquement sur la partie indienne, étant supposé qu'une majorité des lecteurs de cette thèse est d'origine française (elle est écrite en français).

II.B. UNE CERTAINE PARENTÉ

Ce sont de prime abord les différences qui frappent entre les cultures indiennes et françaises, mais il existe pourtant des ressemblances. Les textes fondateurs de la culture indienne révèlent clairement leur parenté avec les différentes cultures connues qualifiées d'Indo-européennes. Par exemple, beaucoup de dieux du panthéon védique ont des homologues grecs ou nordiques : dieu du tonnerre, chariots à deux roues et deux chevaux, boisson rituelle sacrée (*soma*). Selon l'anthropologue Georges Dumézil, l'idéologie sociale de ces peuples était originellement structurée autour de trois fonctions : la *fonction sacrée*, la fonction militaire, la fonction productive qui regroupe ceux qui travaillent, qui produisent les richesses (agriculteurs, artisans, commerçants, etc.). Les peuples descendants des Indo-Européens sont également structurés autour de ces trois fonctions (Dumézil 1958). De plus, le sanskrit descend, comme les membres des groupes de langues celtiques, germaniques, helléniques, italiques, iraniennes, d'un groupe de dialectes anciens appelés par les linguistes proto-indo-européen (Plokfer 2009). Or la langue est un vecteur essentiel de culture. Indiens et Français ont donc des bases de culture commune. Concernant la science et les savoirs, les Indiens sont issus d'un pays qui possède un long passé scientifique et philosophique avec des traditions savantes aux spécificités propres. La France dispose aussi d'un passé scientifique et philosophique notable, connexe à celui des pays européens, dans la lignée des penseurs grecs, mais également porteurs de spécificités propres. Nous allons décrire les spécificités de ces pays, au sujet de leurs traditions savantes et de leur science.

II.C. PRÉSENTATION SUCCINTE DES CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES DES DEUX PAYS

L'Inde (officiellement la République de l'Inde) est géographiquement et culturellement extrêmement diversifiée. Le pays possède 22 langues officielles, 325 langues différentes et 1652 dialectes. Il compte 350 millions d'anglophones ce qui fait de lui la première nation anglophone dans le monde. Il compte 1,25 milliard d'habitants au recensement de 2013, et ce chiffre devrait passer à 1,4 en 2030, selon les prévisions de l'ONU¹², soit une population supérieure à la Chine à cette date. Il est dirigé par un gouvernement parlementaire démocratique ce qui fait de lui la plus grande démocratie du monde. Au niveau économique, il s'agit de la 4e économie du monde en termes de PIB (8% de croissance en 2010). Elle est classée 136^e en Indice de développement humain en 2012 (IDH). L'Inde a acquis son indépendance de l'occupation britannique en 1947.

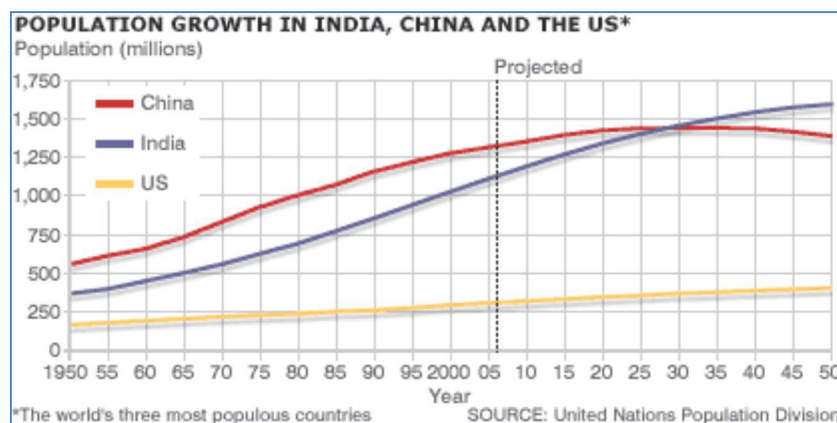


Figure 1: Évolution de la population des pays les plus peuplés : Chine, Inde, États-Unis. Prévisions de l'United Nations Population Division, 2013

La France (officiellement la République française) est un pays principalement situé en Europe de l'Ouest, mais qui comprend également des territoires éloignés disséminés sur plusieurs océans et autres continents. La population totale de la France atteint 67 millions d'habitants en 2015. Politiquement, il s'agit d'une république constitutionnelle unitaire ayant un régime semi-présidentiel. La France est la sixième puissance économique mondiale par PIB nominal. Elle est classée 20^e en termes d'indice de développement humain. Il s'agit d'une ancienne puissance coloniale.

¹² United Nations, « World Population to 2300 » New York, United Nations, 2004

II.D. L'INDE ET LA FRANCE SUR LA SCÈNE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

Pour ce qui est de son rôle scientifique, en comptant sa population expatriée, les Indiens représentent la plus grande population de scientifiques de la planète, même s'ils sont en grande partie dispersés, en particulier aux États-Unis. Rappelons que près d'un tiers des scientifiques travaillant aux États-Unis sont Indiens (ou d'origine indienne). Il faut considérer ce fait lorsqu'on veut parler de la place de l'Inde sur la scène scientifique mondiale. Les États-Unis sont le principal pays en termes de publications scientifiques. Et ils doivent donc en grande partie ce statut aux Indiens qui viennent emplir leurs rangs. Depuis peu, le pays propose des salaires de plus en plus attractifs pour les chercheurs, afin de faire revenir ou garder ses scientifiques de pointe (Dept of Science and Technology India, 2012). Le gouvernement envisage d'étendre les retombées économiques de la science et de la technologie (Modi 2015). Rappelons qu'environ 35 % du total des recettes en devises étrangères de l'Inde provient des exportations de logiciels, fournissant des emplois à 2,2 millions de personnes et représentant une capitalisation boursière de 225 milliards de dollars (Rapport de l'UNESCO sur la science 2006 p260). Aujourd'hui, l'Inde « produit » chaque année 10 000 thésards en science (Maslen 2013). Elle possède 370 universités, 1500 institutions de recherche, 10 428 instituts d'éducation supérieure (Dept of Science and Technology India 2012).

L'Inde a l'un des plus grands réservoirs mondiaux de scientifiques qualifiés, mais aussi, paradoxalement, le plus grand nombre d'enfants non scolarisés dans le monde. Cette dualité n'illustre pas simplement le cas classique des pays « à plusieurs vitesses », car à la différence de la Chine par exemple, l'Inde n'a pas fait de choix dicté par des considérations d'équité et d'égalité des chances. Les taux d'alphabétisme sont plus élevés en Chine qu'en Inde, mais l'Inde envoie six fois plus d'étudiants dans les universités. Cette dichotomie donne à l'Inde une situation spécifique. Ce pays a développé des enseignements de « science moderne » dans des universités de type « occidentale » dès la fin du XIX^e siècle, et participé à la recherche scientifique internationale dès cette époque. Nandy montre que, sous la colonisation, beaucoup des scientifiques vivaient un conflit interne entre le modèle du savoir issu de leur propre culture et la science prescrite par les élites britanniques (Nandy 1995 p78). Après l'indépendance, l'Inde accorda une grande priorité à la science moderne et à l'enseignement supérieur, tendance instituée par J. Nehru, Premier ministre de l'Inde. Mais, dans les années 1950, des citoyens influents des classes moyennes et supérieures se trouvèrent peu motivés par le développement d'une éducation de base (celle du plan quinquennal de 1951-1956 en faveur de l'éducation primaire) – qu'ils avaient déjà acquise – et ils ont fait pression pour développer des

établissements d'enseignement supérieur, qui pouvaient ouvrir la voie à leur ascension sociale, aux dépens de l'éducation primaire et secondaire (Varma 2005 p199). Le pays compte aujourd'hui de plus en plus sur la scène scientifique mondiale. Krishna et ses collègues (Krishna 2012) ont montré que l'Inde émerge comme un partenaire important dans la globalisation de l'innovation. L'Inde est classée au 9^e rang en nombre de publications scientifiques et 23^e pour le H index (SCImago Journal Rank indicator 2013), le niveau de salaire des professions scientifiques publiques augmente ainsi que les fonds alloués pour la recherche (environ 20% chaque année depuis 2009, Dept of Science and Technology India, 2012)¹³. Par exemple, au Tata Institute of Fundamental Research (TIFR) de Bombay où nous avons mené une grande partie des entretiens, les salaires ont augmenté de 50 % au cours des dix dernières années (Worldphysics special report India, décembre 2012 p12).

La situation actuelle de la France dans le monde de la recherche peut être décrite, entre autres, par son classement (6^e sur les publications en nombre de documents, 4^e sur le Hindex, SCImago Journal Rank indicator, 2013). D'après le dernier rapport sur l'emploi scientifique en France (2014), depuis le début des années 2000, l'augmentation annuelle moyenne du nombre de chercheurs est de 3,4 % (une grande part de cette augmentation se fait dans le secteur privé). 42% des doctorants sont d'origine étrangère contre 22% en 2001-2002. Ce ne sont pas les Indiens qui constituent la majeure partie de ces étudiants loin de là, il a été très difficile de trouver des physiciens indiens en France ! La mobilité de chercheurs et étudiants français à l'étranger est importante, c'est en tous cas, le sentiment partagé par les physiciens interrogés. « Les doctorants sont davantage incités à la mobilité internationale en France, explique l'un d'eux. Dans les autres pays que je connais, quand on est chercheur et que l'on aime bien un doctorant, on le garde auprès de soi ; en France, on l'incite à s'ouvrir vers l'extérieur ». Par ailleurs, l'emploi scientifique est perçu comme « bouché » en France, ce qui fait que beaucoup de chercheurs français restent de longues années à l'étranger.

Les dépenses de recherche sont davantage consacrées à la recherche fondamentale (Guillaume 2000 p411) que dans les autres pays de l'Union européenne. La plupart des chercheurs travaillent dans des centres de recherche publics, comme le CNRS (Centre national de la recherche scientifique). Depuis 2002, la plupart de ces centres de recherche sont organisés en réseaux avec des universités et des entreprises, pour former des pôles de compétitivité.

13 Apport de l'Inde au "world global R&D" : de 1.6% en 2002 à 2.2% en 2007 (Department of Science and Technology Government of India New Delhi, 2012)

Ces deux pays font aujourd'hui partie d'une toile scientifique qui projette des ambitions communes au niveau international, et qui partage des outils expérimentaux et théoriques, des données et aussi, bien sûr, des chercheurs. Les physiciens que nous avons interrogés ont pour la plupart eu des expériences de recherche dans d'autres pays. Ils font donc partie respectivement de la société indienne et française, mais aussi de la société des physiciens dans le monde, ils sont en relation avec ces deux sphères. Ils sont donc à la fois héritiers d'une culture scientifique propre à leur pays et à leur histoire et propre à la science internationale, indépendante de leur pays et de leur histoire. Avant d'analyser les *themata* actuels des physiciens, nous souhaitons mieux connaître leur héritage spécifique, si tant est qu'il existe, afin de déceler un éventuel héritage thématique concernant le savoir et la science.

II.D. LES SCIENTIFIQUES INDIENS ET FRANÇAIS ONT-ILS UN HÉRITAGE THÉMATIQUE PROPRE ?

L'histoire générale des sciences montre que des traditions savantes ou scientifiques se forment, en une époque et en un lieu, caractérisées par des types de problèmes, d'approches de leur objet et de pratiques. Celles-ci s'étendent éventuellement à toute une culture : c'est dans ce sens que l'on parle de tradition scientifique indienne tout comme on a pu parler de tradition scientifique chinoise (Needham 1954) ou arabe (Rashed 1984). Michel Serres (1993) décrit la science comme une entité émergente à partir de sources différentes, de traditions savantes venues des quatre continents, à la manière d'un fleuve alimenté par différents cours d'eau. D'après lui, ces sciences se développaient dans des sociétés aux cultures spécifiques, mais en se rejoignant, elles ont construit « LA science ». Jean-Marc Lévy-Leblond critique quant à lui l'idée que les différentes sciences ne seraient que des incarnations successives de « LA science ». Il ne rejoint pas l'idée que chaque civilisation laisserait un héritage scientifique pour les civilisations suivantes. Il explique que ce qui pourrait faire croire à une universalité de la science est le constat actuel d'une science universalisée, mondialisée. « Or ce n'est pas à cause d'une prétendue universalité que la science s'est mondialisée », écrit-il (Lévy-Leblond 2004 p111). D'après lui, confondre l'universalisation de la science avec son éventuelle universalité conduirait à considérer que toutes les traditions scientifiques n'ont été qu'une longue

trajectoire, la longue route du progrès, vers un but ultime : la science européenne depuis son époque moderne (p112), le modèle occidental s'étant naturellement imposé au reste du monde. Pour l'auteur, ce sont les résultats qui peuvent être universels, mais pas les méthodes ni les buts des savoirs. Aux mêmes questions scientifiques, les civilisations peuvent apporter des réponses différentes (par exemple les systèmes de numération), qu'il ne faut pas juger à l'aune de la science occidentale présente et passée. Il existerait donc des formes de traditions scientifiques particulières à chaque civilisation. C'est aussi ce que constate C. Jacob (2010), qui a montré que la notion de preuve ou de vérité possède un sens différent selon les sociétés et les époques. Les enjeux de disgrâce, d'acceptation au sein d'un cercle de « pandits », les rapports d'autorité, les outils de preuve font entrer un savoir dans un cercle fermé de validation. La science moderne a aussi développé ses propres outils de preuve, d'autorité. Le philosophe Jonardon Ganeri estime que « ce n'est pas la « science moderne » qui a échoué à se développer en Inde ou en Chine, mais plutôt la science mal ordonnée, la science non contrainte par la valeur sociale et le consentement démocratique. Ce que je fais valoir, écrit-il, c'est que ce n'est pas un déficit dans les histoires de ces pays, mais une vertu » (Ganeri 2013). Quelles autres spécificités caractérisent le mode de pensée savant indien avant le développement des sciences modernes dans le pays ? Ces spécificités sont-elles encore présentes au sein de la science contemporaine faite par les Indiens ? Autrement dit : y a-t-il un style de pensée scientifique qui caractérise les sciences indiennes et qui trouve une continuité de l'Antiquité à aujourd'hui ?

Le sinologue et philosophe François Jullien a révélé par exemple de telles spécificités dans la pensée chinoise classique en comparaison avec la pensée grecque classique : les Grecs, estime-t-il, sont handicapés pour penser la transition, ils ont une conception des états. Les Chinois n'ont pas pensé en termes d'être, mais de souffle, d'énergie, de vecteurs de transformations plutôt que d'états stables (Jullien 2009). Concernant la pensée indienne, d'après l'anthropologue M.K.Mariott, les différents états intermédiaires imparfaits et inconstants sont caractéristiques des modes de pensée indiens, et donc « les processus, les états intermédiaires, plutôt que les structures fixes ou polarisées, sont à la base de tout » (Marriott 1990). Il évoque également l'importance des catégorisations « Les catégorisations abstraites sont abondantes dans la pensée hindoue [...] en métaphysique, biologie, morale, économie, physique, psychologie ou esthétique [...] elles ont été maintenues simultanément sur plusieurs siècles par un grand nombre d'Indiens mêmes non spécialisés » (p8).

Filliozat a décelé une autre spécifiée ancienne : dans l'Inde classique, écrit-il, "il y a cette attitude de recherche de la loi générale du monde et de la représentation purement rationnelle des phénomènes constatés et il y a aussi l'attitude dans laquelle, au lieu d'essayer de comprendre

les relations entre les phénomènes, on admet traditionnellement, sans chercher à les entendre, certaines relations qu'on a constatées et dont on croit pouvoir se servir pour reproduire les phénomènes par opérations volontaires en utilisant les similitudes, les corrélations apparentes" (Filliozat 1955).

Il est plus difficile de trouver des auteurs qui se sont attachés à trouver les spécificités de la « science française ». Sans doute parce que ses racines semblent enchevêtrées avec la pensée gréco-latine, puis avec la science européenne. Un anthropologue ou historien des sciences indien, avec le recul propre à sa position extérieure, aurait sans doute moins de mal à dégager des traits spécifiques à la pensée « savante » française. Nous allons tenter cependant d'en dessiner quelques traits. Nous nous attarderons plus longuement sur l'histoire de la pensée savante en Inde puisque c'est à elle que nous consacrons plus spécifiquement notre analyse. L'étude des physiciens français sert avant tout, comme nous l'avons dit en introduction, à la comparaison. Une étude plus approfondie de la pensée savante mériterait cependant d'être menée, nous en brossons ici quelques traits, à partir de l'analyse proposée par certains auteurs.

Peut-on parler d'un style thématique scientifique français ?

L'histoire et la sociologie des sciences ont montré que l'élaboration des théories scientifiques est un processus historique qui n'a que peu à voir avec la réalité des pratiques. Dans cette histoire, la France fait partie des pays qui ont porté l'émergence de la science moderne. Même si toutes les civilisations ont contribué à la science dans son ensemble, chacune avec des apports et des découvertes qui ont coulé dans un fleuve commun comme l'explique Michel Serres (1993), il n'en reste pas moins que l'Europe des Lumières a impulsé une forme de science avec des spécificités propres dont certaines se retrouvent dans la science moderne. Dans son article *L'universalité de la science*, le philosophe et physicien M.Paty explique que « la « culture occidentale » (qui est, en fait, un ensemble de cultures, et dont l'origine n'est pas seulement occidentale) a donné lieu à la révolution industrielle ainsi qu'à la science moderne avec la signification qui lui est attachée et sa propre valeur de culture » (Paty 1999). Pour C.Jacob (2011), les sciences sont une forme de savoir issu du XIX^e développé dans l'Europe moderne. J-M. Berthelot fait remonter la « science moderne occidentale » d'un fond commun de compréhension commençant avec les présocratiques (Berthelot 1990). D'après M.Paty, notre conception de la science moderne trouve ses racines essentielles « dans le moment fondateur de la naissance de la science et de la philosophie, dans la Grèce ancienne, lorsque les représentations du monde, c'est-à-dire la cosmologie, ont opéré une transformation décisive du

mythos à la *physis*, des descriptions mythologiques de la création du monde et de l'état de la nature à des explications naturelles, organisées selon le raisonnement » (p5). M.Paty s'appuie sur l'historien J.P Vernant, pour qui le rôle de la pensée mathématique apparaît fondamental dans la conception du *logos* développée par la philosophie grecque (Vernant 1965). Cette fonction du *logos* est, en même temps, par là même, affirmation de l'universalité.

La « science contemporaine » n'est pas uniquement née en Occident. L'Inde y a notamment beaucoup contribué, ainsi que bien d'autres contrées ou pays. Mais il est vrai que dans sa forme « moderne », elle a beaucoup de liens avec la pensée européenne. Elle a puisé dans le fond culturel associé. L'idée de « progrès » par exemple ; le progrès vu comme effet d'accumulation des connaissances et du développement technique est inhérent à notre conception de la science, même s'il a été remis en cause par quelques auteurs ((Jonas 1979, 1998) ou (Pestre 2003)). Cette forme de progrès n'est pas partagée par toutes les cultures. D'autres cultures privilégient des axes différents, comme la transformation individuelle, la connaissance du soi. Une autre valeur qui a pu être associée à la science moderne « occidentale » est celle de domination. L'historien Funkenstein a étudié la répartition des *themata* dans la pensée scientifique du Moyen-Âge en connexion avec les considérations théologiques (Funkenstein 1995). Il a montré, par exemple, que les principes de *simplicité* et d'*unité* dans la science sont la sécularisation en science d'attributs divins tels que l'omniprésence et l'omnipotence de la providence divine. La recherche de l'unité est déjà très présente dans la philosophie grecque depuis Parménide en particulier. Cette unité concerne l'unité du savoir.

La science est vue par certains auteurs comme un outil pour asseoir une domination. De quelle domination s'agit-il ? De l'Europe à l'origine, du monde occidental ensuite, envers les autres sociétés. Des valeurs qui y sont associées, celles des groupes de personnes, des institutions, du modèle économique occidental. Les relations entre la science et l'impérialisme ont fait l'objet de recherches développées au cours des deux dernières décennies, notamment par le biais des études sur la diffusion de la science, la domination et les empires (par exemple Delmas, Vandamme, & Spalding Andréolle 2010). La démarcation science/non science au XX^e a cherché à légitimer la supériorité de la société occidentale. Weber parle par exemple de « domination rationnelle légale » (*Économie et société* 1922). Il a étudié les traits spécifiques au protestantisme qui se retrouvent pour certains dans « l'esprit du capitalisme », et dans la science : importance des calculs, des prévisions, des méthodes rigoureuses, des techniques de gestion. Une autre des valeurs que la science moderne a pu emprunter aux valeurs occidentales est l'universalité. Les autres sociétés ont-elles voulu développer des savoirs universels ? En tous cas, nous verrons pour l'Inde, que l'objectivité n'était pas une valeur de connaissance. Au

contraire, les savoirs étaient perçus comme entièrement liés au connaisseur et comme contextuels.

Le constat de ces différentes valeurs ou *themata* associés à la science moderne, et liés à la culture européenne, pourrait supposer que les scientifiques français en ont tiré un héritage. Notre analyse pourra permettre de l'évaluer. D'autres spécificités semblent liées aux physiciens français, dans leur histoire.

Quelques auteurs ont tenté de dresser des caractéristiques propres à la pensée savante française. Pierre Duhem est l'un des premiers. Il propose une comparaison de la pensée savante française en comparaison avec celle des Anglais puis avec celle des Allemands. Son analyse doit être resituée dans le contexte historique de son époque : le début du XXe siècle, une période sujette aux tensions nationalistes entre ces différents pays européens. Mais, au moins, le partage ne s'effectue-t-il pas entre une pensée scientifique et une pensée sauvage ou primitive, comme on en voit émerger à cette époque. Duhem a le mérite de différencier des pensées « scientifiques » entre elles, des pensées qu'il considère toutes trois comme scientifiques, avec leurs variations nationales. Malgré ce mérite, il faut rester critique avec cette manière brute et rapide (sans analyses) de décrire ces formes de pensée.

Un esprit fort et étroit

Pierre Duhem décrit en 1906, à la suite de Pascal, l'esprit scientifique français et l'esprit scientifique anglais dans un ouvrage *La théorie physique*. L'esprit scientifique français lui apparaît étroit et fort, et le second (l'anglais), ample et faible. Duhem n'a pas élaboré une analyse historique, épistémologique ou sociologique poussée pour élaborer sa théorie. Il la déploie dans le contexte d'opinions qui est celui de son époque. Donc, son argumentaire et ses conclusions peuvent être largement critiqués, surtout après un siècle de déploiement des études en sciences humaines sur ces divers sujets. Nous évoquons donc sa pensée pour comprendre la manière dont un physicien du début du XXe siècle pouvait se représenter les spécificités d'un supposé « esprit scientifique français », en comparaison avec celui des Anglais. D'après Duhem donc, les Anglais construisent leurs théories à partir de modèles mécaniques davantage que de relations mathématiques. « On peut bien sûr, écrit Duhem, trouver en Angleterre des esprits forts et étroits (par exemple Newton) et hors de l'Angleterre des esprits larges, mais faibles », mais ce caractère est plus ou moins endémique selon les pays. » (Duhem 1906 p 34). « Cette opposition entre l'esprit français, assez fort pour ne point redouter l'abstraction et la

généralisation, mais trop étroit pour imaginer quoi que ce soit de complexe avant de l'avoir classé dans un ordre parfait – et l'esprit ample, mais faible de l'Anglais, nous la retrouvons sans cesse en comparant les monuments écrits qu'ont élevés ces deux peuples. » (Duhem, 1906, 43) Quels sont les objets les plus simples pour Descartes, à partir desquels il peut dérouler sa méthode ? Ce sont les notions les plus abstraites, explique Duhem, les principes les plus universels, les vérités premières de la géométrie. À partir de ces idées, la méthode déductive déroulera ses syllogismes jusqu'aux conséquences les plus particulières. Il craint seulement l'omission, car il sent qu'il a l'esprit étroit, qu'il a peine à se figurer un ensemble complexe. De l'autre côté (de l'esprit et de la Manche), Bacon, avec son *Novum Organum*, ne cherche point de vérités abstraites à partir desquelles dérouler une méthode inductive, son objet est tout pratique, tout « industriel » : « Il faut voir quel précepte, quelle direction on peut surtout désirer pour produire et faire naître sur un corps donné quelque propriété nouvelle, et l'expliquer en termes simples et le plus clairement possible[...] par exemple, si l'on veut donner à l'argent la couleur de l'or, ou la ténacité au verre ». « Pour un Français ou un Allemand, une théorie physique est essentiellement un système logique ; des déductions parfaitement rigoureuses unissent les hypothèses sur lesquelles repose la théorie aux conséquences qu'on en peut tirer et qu'on se propose de comparer aux lois expérimentales ; si le calcul algébrique intervient, c'est seulement pour rendre moins lourde et plus maniable la chaîne de syllogismes qui doit relier les conséquences aux hypothèses [...]. Mais il faut qu'on sente à chaque instant la possibilité de remplacer le calcul par le raisonnement purement logique dont il est l'expression abrégée » (Duhem 1906 p112).

La théorie, pour le physicien anglais, « n'est ni une explication, ni une classification rationnelle des lois physiques, mais un modèle de ces lois ; elle n'est pas construite pour la satisfaction de la raison, mais pour le plaisir de l'imagination ; dès lors elle échappe à la domination de la logique. » Pour Duhem, cette forme particulière d'esprit engendre une forme particulière de théorie physique ; les lois d'un même groupe ne sont point coordonnées en un système logique ; elles sont figurées par un *modèle* ; ce modèle peut être d'ailleurs, soit un mécanisme construit avec des corps concrets (éther), soit un agencement de signes algébriques (équation de Maxwell), mais il ne soumet point aux règles de la logique. Duhem estime, en son début du XX^e siècle, que la manière anglaise de traiter la physique s'est rependue partout avec une extrême rapidité, jusqu'à devenir usuelle en France comme en Allemagne.

Si l'on synthétise les deux styles de pensée scientifique proposés par Duhem on obtient ce tableau (tableau 2) :

| | | |
|---|--|---|
| Style de pensée scientifique Aspects relevés par Duhem | Esprit faible et large (Anglais) | Esprit fort et étroit (Français, Allemands) |
| Force | Faible : peine à abstraire, à généraliser | Fort : abstraction et généralisation |
| Ampleur | Ample : faculté d'imaginer les ensembles concrets dans leur amplitude complexe | Étroit : peine à intégrer la complexité, a besoin de classer, craint l'omission |
| Théorie physique | Modèle non soumis à la logique (algèbre, croquis) | Objets abstraits reliés de manière logique |
| Exemple de théorie | Équations de Maxwell, Modèle de l'éther de Thomson | |
| Figures emblématiques | Bacon, Hertz, Gassendi, Maxwell | Descartes, Laplace, Fourier, Cauchy |

Tableau 2 : synthèse des styles de pensée scientifique proposés par P.Duhem (1906).

Un comportement abstrait, classique

Dans son ouvrage de 1986 *Sciences in the provinces*, Marie-Jo Nye s'intéresse aussi aux styles scientifiques anglais et français de l'époque de Pierre Duhem, mais vu avec les yeux de l'historienne. Elle identifie les facteurs qui entretiennent le style français en faveur des mathématiques à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e. Elle compare aussi les manières dont les Français et les Anglais ont pratiqué les sciences physiques et cliniques au siècle dernier. Elle dresse une liste d'oppositions caractéristiques Français/Anglais : comportement abstrait/concret, individualiste/coopératif, fragmenté/centré, cosmopolite-urbain/puritan, chauvin/touriste, classique/moderne (cité par Gayon, 1996). Cette dichotomie s'exprime dans les savants individuellement, mais on peut aussi l'attribuer à des facteurs institutionnels qui les entretiennent (Nye 1986). En France, les savants étaient le plus souvent formés à l'École normale supérieure et dans quelques grandes écoles ; or, l'accès à ces écoles a été longtemps conditionné par des concours dans lesquels les examinateurs étaient en majorité de purs mathématiciens. Corrélativement, jusqu'en 1958, il n'existait pas de concours séparés d'agrégation en physique et mathématique. « En Grande-Bretagne, ce biais institutionnel précoce en faveur des mathématiques pures n'a pas de correspondant. Les physiciens anglais

ont en conséquence toujours exigé de leurs collègues les plus mathématiciens qu'ils sachent présenter leurs théories au moyen de modèles mécaniques de la nature » (Gayon 1996).

Les « traits de recherche particuliers » des physiciens français

Dominique Pestre, sociologue et historien des sciences, publie en 1984 (réédition en 1992) *Physique et les physiciens en France entre 1918 et 1940* (Pestre 1984). Pestre ne parle pas à proprement parler de « styles », mais évoque des « traits particuliers » : « la physique française présente un certain nombre de traits particuliers. Ce que nous entendons par trait particulier peut très bien être défini négativement : nous ne voulons pas dire que ces traits sont exclusifs et propres aux seuls physiciens français. Certains d'entre eux se retrouvent en effet hors des frontières de l'hexagone. Nous ne voulons pas dire non plus qu'ils sont absolus et communs à tous les physiciens sans exception : il existe bien sûr des cas atypiques. Il s'agit plutôt de définir les comportements dominants, ceux de l'immense majorité et dans la mesure essentielle où ils sont originaux relativement à l'étranger, à l'Allemagne, à l'Angleterre, aux États-Unis notamment » (Pestre 1984 p4). Pestre a conscience que sa démarche est délicate : elle peut dévier vers des généralités ou bien à l'inverse des traits trop particuliers propres seulement à certains groupes français. Il s'agit donc de mesurer le domaine d'extension des affirmations avancées.

L'originalité du travail de cet auteur est de comprendre la manière dont s'est fait le maintien d'une tradition. Sa démarche est originale, car la plupart des études sur les styles de recherche se sont davantage intéressées à l'émergence nouvelle de styles plutôt qu'à leur persistance. Pestre organise son étude autour des productions scientifiques (les œuvres non universitaires ou universitaires) des physiciens, mais aussi aux savants eux-mêmes, en tant qu'hommes, « que Français marqués par leur éducation et habités de certitudes philosophiques. » (p5). Il met en évidence deux faces du monde culturel et mental des physiciens français de l'entre-deux-guerres. « La première peut se résumer derrière le mot de *scientisme*, chargé de signifier la confiance dans la « science pure », dans ses vertus éducatives, dans le progrès qu'elle engendre dans toute société, moralement et socialement. » La seconde « est la place capitale de la Raison au centre de toutes les convictions. Un véritable culte l'entoure, *culte du raisonnable* d'abord, du bon sens, qu'on rattache au nom de Descartes, - le bon sens étant la chose la mieux partagée, surtout en France, comme chacun sait-, mais aussi *culte de la raison positive*, rationnelle celle-là, évoquant Condorcet et Auguste Comte. » Les physiciens français de l'entre-deux guerre étudiés par Pestre, malgré leur différence de sensibilité politique, sociale, se rejoignent sur la valeur accordée à la science, « ils accordent à celle-ci une valeur humaine et morale, une valeur

qui est secrétée par la pratique même du scientifique et qui lui confère de ce fait un rôle éducatif positif » (p 175).

Après avoir trouvé des traits qui s'apparentent à des « faits nationaux », la deuxième phase du travail de Pestre a été de les comprendre, de les analyser. Il note, dans les manuels de l'époque, une « présentation de la physique sous son aspect le plus ordonné, même si cela se fait au détriment des travaux perturbateurs les plus récents ». Il lui semble que cela s'explique par « la volonté toujours réaffirmée en France de suivre des principes de clarté dans l'exposition et de logique dans l'énoncé des postulats et des théorèmes, dans le désir de ramener la science à une synthèse close et définitive : les maîtres mots toujours répétés sont logique rigoureuse, ordonnance solide, fermeté gracieuse, pureté élégante. Le désordre de la science en construction, voire en révolution – ne saurait être toléré. » (p34) Les Français ont pu jouer un rôle essentiel dans la physique mathématique du XIX^e siècle, ils sont apparemment moins à l'aise dans les facultés d'imagination non classiquement rationnelles que demandera la physique quantique et atomique. Ils ont plus de difficulté à évoluer librement dans un monde de pseudo-objets ne se déplaçant plus dans le cadre du temps et de l'espace communs. Et cela semble vrai même pour ceux qui acceptèrent le plus vite ces théories étrangères : Paul Langevin et Louis de Broglie. (p201). L'abstraction reste au-dessus du réel, les mots au-dessus des choses, en bref, les physiciens français préfèrent la rhétorique à la science. (p292). Il y a aussi un manque d'intérêt pour un contact de la science avec le monde industriel, qui est lié d'une certaine manière à cette attirance rhétorique. Cela n'est pas le cas de tous les physiciens bien sûr. Pestre observe une tendance. Cette observation pourrait être contestée, sans doute, mais nous n'avons pas connaissance d'études portant sur ce sujet qui soutiendraient une vision inverse, appuyées sur des tendances, et non seulement sur des individus. Pestre observe également des valeurs auxquels ils s'attachent volontiers, comme le déterminisme, ou du moins qu'ils ne contestent pas, à l'inverse de certains de leurs collègues frontaliers. « Le contexte idéologico-philosophique, écrit Pestre, n'incite en rien à remodeler les schémas de la physique galiléenne, ni le sacro-saint déterminisme du « sens commun » qui postule à l'évidence que telle cause produira toujours tel effet, que tout est localisable, que tout est toujours reconnaissable dans la science, aux imprécisions de mesure près. Rien donc qui puisse rappeler la philosophie du cercle Ekliptica de Copenhague dans lequel se forma la pensée de Bohr, ni l'importance de l'irrationalisme ambiant de la république de Weimar, ni bien sûr les cercles étudiants radicaux et contre-culturels évoqués par Ludwig Feuer lorsqu'il parle de l'académie Olympia dont Einstein était l'un des trois membres » (p 172).

Ces quelques traits consacrés à l'histoire de la pensée scientifique française sont loin de représenter un portrait exhaustif. Ce portrait ne présente pas des traits aussi marquants, que ceux que nous pourrions dégager avec la culture indienne, car il n'est pas aussi facile de dégager des traits philosophiques propres à la pensée savante française. Celle-ci se confond avec la pensée scientifique européenne, qui s'est mondialisée. Nous allons voir que, dans le cas de l'Inde, des spécificités apparaissent d'autant mieux qu'il y a, dans ce pays, d'anciennes traditions savantes bien constituées.

Peut-on parler d'un style thématique scientifique indien ?

Se poser la question de l'existence d'un style thématique indien, c'est envisager l'existence de spécificités liées à l'histoire des modes de pensées indiens, ou des sciences indiennes si tant est qu'elles existent. Il nous faut donc déjà nous intéresser à d'éventuelles spécificités des traditions savantes indiennes. L'indianiste Filliozat¹⁴ écrivait il y a près d'un demi-siècle, « L'historien des sciences, quand il parcourt l'Inde aujourd'hui, est tout de suite frappé d'observer la coexistence de la science antique et de la science moderne, la coexistence des traditions les plus anciennes, les plus respectées, et, en même temps l'entreprise des réalisations les plus nouvelles » (Filliozat, 1955). Un observateur d'aujourd'hui peut-il faire le même constat ? Zimmer écrivait un peu plus récemment « L'Inde a eu et a encore ses disciplines propres de psychologie, d'éthique, de physique, de théories métaphysiques » (Zimmer 1978 p37). « On peut croire que c'est par une certaine routine, disait encore Filliozat, que l'Inde s'attache encore pour une part à ses traditions antiques tout en adoptant la science moderne, mais, si on examine de plus près les rapports entre la science moderne nouvelle et ses sciences antiques, on constate un effort d'adaptation qui présente un intérêt considérable, car il montre que, d'une part, l'Inde n'entend pas renier son passé, tout en se mettant à vivre à la moderne et que, d'autre part, il arrive que dans certains domaines elle puisse utiliser ses connaissances acquises accumulées au cours des siècles pour les intégrer dans les recherches présentes » (Filliozat 1955). Cette assertion de Filliozat est ancienne, mais elle est intéressante dans le sens où elle traduit ce qu'un observateur étranger pouvait ressentir devant le déploiement de la science dans l'Inde du XXe

¹⁴ En France, l'histoire des sciences indiennes est marquée par le nom de Jean Filliozat (1906-1982), ophtalmologue et indianiste. En association avec Louis Renou, il rédigea dans les années 1950 L'Inde classique, un manuel d'études indiennes encore utilisé de nos jours. Pour une vue détaillée de l'ensemble des initiatives scientifiques de l'Inde, on pourra se référer au projet lancé par l'historien Debiprasad Chattopadhyaya, History of Science, Philosophy and Culture in Indian Civilization, sous l'égide du Centre of history of Indian science à New Delhi, dont la publication des différents tomes s'étale sur plusieurs années. Nous nous basons sur ces ouvrages pour les aspects généraux, mais aussi sur des ouvrages plus spécialisés et nos propres recherches en particulier en ce qui concerne les disciplines de la physique.

siècle. Aujourd'hui, nous pouvons constater, par exemple, dans le domaine de la médecine que l'Inde utilise ses connaissances acquises accumulées au cours des siècles pour les intégrer dans les recherches présentes (Pordié 2012b). Afin de clarifier ce que l'on entend par « les connaissances acquises », il est essentiel de comprendre historiquement en quoi consiste l'ancienne science de l'Inde. Cela pourrait permettre comprendre s'il existe des préférences thématiques véhiculées par les traditions scientifiques indiennes.

La tentative de mise à jour de spécificités des traditions scientifiques indiennes a uniquement pour but de nous éclairer sur les origines des styles thématiques locaux que nous décrivons dans le chapitre IV. Je n'ai pas l'ambition de délimiter clairement les spécificités des traditions savantes indiennes, même si j'aimerais approfondir ce sujet dans le cadre d'une recherche ultérieure. Ce passage par l'histoire des sciences indiennes a surtout pour but d'éclairer les lecteurs sur un sujet probablement peu familier (je m'attends à ce que les lecteurs de cette thèse soient surtout français et assez peu informés au sujet de l'histoire des sciences en Inde). En dehors de cet éclairage à destination du lecteur, ce tour d'horizon historique nous sera utile dans les prochains chapitres lorsque nous nous questionnerons sur les différences observées. Je n'ai pas pu déployer le même travail concernant les spécificités des traditions savantes françaises. Cela ne veut pas dire que la France a moins de spécificités culturelles que les Indiens. Cela tient au fait que :

- j'envisageais au départ cette thèse comme une exploration du lien entre traditions et modernité, avec une étude consacrée à l'Inde. J'ai donc passé une bonne partie de ma thèse à comprendre les spécificités des traditions savantes indiennes en termes épistémologiques. Le temps imparti pour la thèse ne me le permettait pas de faire la même démarche pour la France. J'ai donc choisi d'assumer cette asymétrie.
- En dehors de la contrainte temporelle, le fait aussi que je sois française m'aurait rendu difficile la tâche d'analyser les spécificités propres à ma « culture ». J'ai préféré citer les travaux d'auteurs qui se sont penchés sur le sujet (Pestre, Jo-Nye, etc).
- La tâche semble plus difficile – en ce qui concerne la pensée savante en tous cas – pour la France. Comment délimiter la pensée savante française ? Faut-il y intégrer tout l'héritage grec et européen ? Mais, dans ce cas, cet héritage ne devrait-il pas aussi concerner l'Inde ancienne, qui a eu des échanges avec la Grèce antique ? On touche là la question des frontières et des échanges. Qui est une question délicate des études sur les différences culturelles. Cette question ne remet pas en cause, il me semble, le travail que nous avons fait au sujet des *themata* car, malgré les

échanges culturels, des traits spécifiques peuvent parfois rester suffisamment marqués au sein d'un même pays. C'est ce que nous voulons étudier en particulier dans le cas de l'Inde.

Nous pouvons à présent présenter quelques spécificités du passé savant de ces deux pays.

L'Inde est un pays qui possède une riche tradition savante. C'est aussi pour cette raison que nous avons choisi d'étudier ce pays-ci. C'est en effet de la littérature scientifique indienne que relève la majeure partie des littératures scientifiques de la haute Asie à la péninsule indochinoise. Elle a joué en Asie orientale le même rôle qu'en Europe et en Asie occidentale la littérature scientifique grecque (Filliozat 1957). Les deux traditions scientifiques indiennes et helléniques n'ont pas seulement dominé, en se la partageant, la plus grande partie de l'Eurasie, elles ont eu entre elles des contacts importants et répétés (Filliozat 1966 p150). Enfin tandis que la science grecque dans l'Antiquité a été en présence des traditions scientifiques de l'Orient classique (pays arabes), la science indienne a rencontré outre une partie de ces mêmes traditions, celle de la Chine moins largement rependue que les siennes propres, mais dominant massivement l'Asie extrême-orientale.

Nous proposons un bref tour d'horizon de cette tradition savante, en cherchant à mettre en relief ses spécificités, notamment dans ce qui nous intéresse pour la suite : les spécifiés du rapport au réel et des présupposés ontologiques, les *themata*, si tant est qu'on puisse en caractériser. La mise en perspective de ces spécificités thématiques historiques a constitué une étape importante de notre travail de recherche. Nous n'en présentons ici qu'une synthèse, car elle n'est pas l'objet principal de notre thèse, elle servira on l'a dit, au moment où nous essaierons de comprendre les racines des différences thématiques que nous observerons parmi les physiciens indiens et français.

Les techniques et sciences indiennes étaient enseignées oralement de maître à disciple, rendant difficile la tâche de l'historien (Angot 2001 p209). De nombreux textes, même sur des sujets techniques comme le *Jyotiṣa* (astrologie), ont été attribués aux révélations des dieux ou des sages légendaires pour souligner l'importance divine de leur contenu. Même les auteurs historiques tendent à devenir des auteurs légendaires. Cela est vrai pour la période classique, moins pour les périodes plus récentes.

Les prémices de la connaissance savante

Selon le scénario le plus en vogue actuellement chez les historiens, les locuteurs de l'Indo-Iranien (les ancêtres communs immédiats des langues indiennes et iraniennes) vivaient dans l'Est de l'Iran et l'Ouest de l'Afghanistan aux environs du 3^e millénaire av. J.-C. et seraient descendus en Inde aux environs du II^e millénaire av. J.-C.. Ils auraient migré aussi vers l'Iran et l'Europe. Les hymnes religieux des Indo-Européens d'Inde, formés un peu plus tard en recueils canoniques constituant les Védas, évoquent la destruction de fortifications des autochtones. Les vestiges des cités des civilisations de l'Indus, Harappa et Mohen-Jo-Daro du second millénaire avant notre ère, révèlent un état avancé de l'hygiène publique, et attestent une des civilisations matérielles les plus avancées de la haute antiquité par ses surprenants travaux d'urbanisme et leur exceptionnel système d'égouts et de piscines. Cette civilisation dite de l'Indus daterait du V^e millénaire avant notre ère. Les sceaux inscrits qu'on y trouve ont résisté aux tentatives de déchiffrement. Ils possédaient un système des poids et mesures. L'urbanisme est particulièrement exceptionnel par sa qualité et son homogénéité. Les maisons en brique séchée cuite sur un ou deux niveaux disposent d'un confort remarquable, les eaux usées sont récupérées par des rigoles dans des canalisations passant sous la rue. Les rues rectilignes et larges se croisent en angle droit (Angot 2001).

C'est dans les *Védas* (dérivé de la racine verbale *vid* qui signifie « savoir »), rédigés en sanskrit archaïque, une des plus anciennes langues indo-européennes, qu'apparaît la première forme connue de pensée philosophique indienne. La période d'élaboration des textes védiques paraît correspondre à celle qui va de 2000 à 1000 avant Jésus-Christ. Le mot Véda désigne aussi l'ensemble de la « bibliothèque védique » qui contient plusieurs types d'ouvrages, chacun de ces ouvrages étant dédié à une branche de la connaissance védique. Par exemple, l'*Āyurveda* se consacre à la médecine, le *Sthapatyaveda* à l'architecture et l'urbanisme, etc. Les doctrines métaphysiques et les premières disciplines savantes se sont dégagées par degrés des premières conceptions védiques.

ṛta : ordre et équilibre

En dehors de connaissances de détail relatives à des maladies et à des drogues ou des astres, les plus remarquables des notions communes aux Védas sont relatives à l'ordre normal du monde. Cet ordre est conçu comme une loi naturelle du retour régulier des phénomènes astronomiques et des saisons et, par eux, de toutes choses. Son nom est *ṛta* : la norme et le vrai (qui a donné *rituel* en français, *roue*, *arranger*...). La notion est capitale et comprend celle de loi de la nature, en même temps que celle de l'ordre moral, elle représente la conception globale du réel

déterminé universel. Cette conception rejette hors de ses déterminismes l'irrégulier apparent précisément parce qu'il est irrégulier. Elle vise moins la loi physique que la norme, moins l'ordre tout court que le bon ordre. Les forces de destruction ne sont pas quelque chose de totalement extérieur au développement du monde, mais au contraire quelque chose de constitutivement indispensable. L'univers mythique est extrêmement instable, en construction permanente par le jeu des forces opposées. L'équilibre n'est jamais durable et doit toujours être maintenu par quelque activité de l'homme, le rite.

Relations entre la vie, les figures et les nombres

L'idée centrale qui sous-tend le système védique est la notion de "*bandhu*" : les relations. Par exemple les relations entre l'astronomique, le terrestre et le physiologique sont décrites sous forme de chiffres. Par exemple, les 360 os de l'enfant qui par la suite en fusionnant ne sont plus que 206 chez l'adulte et les 360¹⁵ jours de l'année, les rythmes mensuels établis sur une moyenne de 29,5 jours correspondent au cycle de reproduction de nombreux animaux et plantes aquatiques (Kak 2004). Dans l'Inde ancienne, les mathématiques sont d'abord liées aux rituels védiques : il fallait opérer le sacrifice à des dates propices et sur des autels comportant des mesures extrêmement précises. La géométrie intervient pour la construction des hôtels védiques, reflets de l'univers physique et support pour le déroulement des phénomènes de la nature qu'il cherche à aider ou à contrôler. Les emplacements des feux sacrificiels ont des formes géométriques simples et qui doivent répondre à des rapports numériques déterminés (Plokfer 2009). Souvent une forme devait se transformer en une autre en gardant la même surface. D'autres doivent subir des transformations augmentant dans leur surface sans changer leur forme. Les hôtels élevés en briques doivent être construits dans des dimensions précises et avec le nombre de briques fixées. Tout ceci nécessite l'usage d'outils mathématiques. Autour de la « bibliothèque védique », on trouve les *Sulbasutras*, appendices aux Vedas. Ce sont des textes, écrits en vers et datant du VIII^e-IV^e siècle av. J.-C., qui contiennent l'ensemble des connaissances requises pour ériger des temples et des autels. Ils décrivent les règles de transformation de figures planes, incluant des formules géométriques. La langue védique atteste le maniement de nombre très élevé par le seul fait qu'elle possède des noms pour toutes les puissances de 10 jusqu'à 10²³. Aux environs du VI^e siècle av. J.-C., des maîtres se mettent à enseigner, à partir de la révélation védique, des notions nouvelles appuyées sur une dialectique qui s'affûte progressivement. Leur fidélité affirmée au Véda ne les empêche pas de l'approcher

¹⁵ Pour arriver aux 365, 25 jours de notre année actuelle, ils ajoutent les jours manquants tous les 5 ans.

de manière critique (Tardan-Masquelier 2007). Les *Upaniṣads* ensemble de textes dont le titre signifie "asseoir à côté" ont pour objet principal de faire des rapprochements, d'énoncer, entre les réalités observées les relations d'analogie ou de dépendance qui leur paraissent donner les clés de l'agencement du monde et de ses transformations. La période des *Upaniṣads* traduit un effort de recherche des lois simples des relations naturelles derrière la multiplicité et la diversité des phénomènes. Elles n'en manifestent pas moins un souci ardent de comprendre ce monde plutôt que d'en subir passivement des lois mystérieuses et d'en manier empiriquement quelques mécanismes aperçus. En employant les méthodes de raisonnement abstrait et le débat, les auteurs de ces traités ont créé un environnement où la pensée dialectique et les échanges intellectuels purent se développer. Les commentaires illustrent les méthodes populaires de débat dialectique. Ils ouvrirent la voie au développement d'idées rationnelles, encourageant l'observation la logique, et les mathématiques. Cette période a produit aussi un petit groupe de textes d'astronomie, formant le *Jyotiṣavedāṅga*, « éléments astronomiques du savoir » qui contient les principes du calendrier et de la représentation critique du système du monde. Ce texte se situe entre le III^e siècle av. J.-C. et le III^e siècle de notre ère. Au-delà du syncrétisme théologique, l'hindouisme était à cette époque, un vecteur pour toutes les sciences : le droit, la politique, l'architecture, l'astrologie, la philosophie, la médecine, etc., comme d'autres savoirs qui avaient en commun le substrat religieux.

La période classique

| Les six philosophies (Darśanas*) de l'Inde | |
|--|---|
| <i>Mīmāṃsā</i> Codificateur : Jaimini vers 200 A.D. | <i>Vedānta</i> Codificateur : Vyasa, sage mythique ? Badarayana, vers 200 A.D., Cankara vers 800 A.D. |
| <i>Sāṃkhya</i> Codificateur : Kapila Isvarakrisna vers 400 A.D. | <i>Yoga</i> Codificateur : Patañjali vers 100 A.D. |
| <i>Nyāna</i> codificateur : Gautama Rishi vers 300 A.D. Akṣapāda Gautama | <i>Vaiśeṣika</i> Codificateur Kanada vers 200 B.C. |
| Les deux philosophies hétérodoxes | |
| <i>Jāinisme</i> Codificateur Mahavira 540-468 B.C. | <i>Bouddhisme</i> Codificateur Siddhartha Gautama dit Bouddha vers 566-478 B.C. |

Figure 2 : Les différentes écoles de philosophies de l'Inde ancienne (*darśana*). Tableau inspiré de (Alais 2011)

Après les *Upaniṣad*, la philosophie indienne s'est constituée en six grands systèmes (*darśana*), sous le patronage de fondateurs révéérés (voir figure 2). Dans l'hindouisme, la connaissance des textes sacrés se fait par la *śruti* (ce qui est révélé, entendu). C'est pourquoi même les anciens textes, et en particulier les Védas, sont aujourd'hui encore appris par cœur et récités oralement selon un rythme et une mélodie choisie. Les autres branches des enseignements relèvent de la *smṛti* (ce qui est appris) et se déclinent en traités ou enseignements (*śāstra*). La vie intellectuelle indienne se caractérise par sa forme scolastique. Des débats incessants opposaient plus souvent des écoles que des individus. L'étudiant fait son apprentissage auprès d'un maître auquel il doit respect et qui lui transmet la tradition dont il est le dépositaire. Les traditions savantes en Inde sont souvent hétérogènes éclectiques, elles échangent entre elles, ainsi l'Ayurveda avec le Vaiśeṣika et le Sāṃkhya, le Vedānta ou le Nyāya (Lyssenko 2004). Elles ont évolué pour former une multitude d'opinions alternatives et se formalisent dans une présentation systématique plus ou moins établie de la doctrine dans un texte de base. La plupart des traités sont écrits sous forme de traités versifiés, sortes d'aphorismes, qu'on appelle *sūtra*. Ils sont rédigés la plupart du temps par des brahmanes, en langue sanskrite et de la manière la plus brève et synthétique possible pour permettre un apprentissage par cœur et une transmission orale. Découvrir leur sens profond s'apparente à un jeu de piste pour restituer l'ensemble de la signification contenue dans quelques mots ! On comprend donc que de nombreuses interprétations existent, comme autant de commentateurs. D'ailleurs, beaucoup de commentaires deviennent à leurs tours sujets à commentaires. Le texte délimite un domaine du savoir distinct de celui des autres écoles, il fait autorité et l'activité des successeurs consiste principalement à le commenter. Cela n'empêche pas toutefois les commentateurs d'infléchir de façon significative la tradition de l'école ou même de remanier profondément la forme et le contenu. On évalue à 13 millions le nombre de manuscrits de textes sanskrits existants de par le monde (Keller 2006). Dans ces textes, aucun dogme n'est énoncé sous une forme définitive, car les brahmanes jouissaient d'une grande liberté philosophique. Le juste savoir y est supposé s'obtenir par une suite d'idées claires et de vérités bien enchaînées. Deux questions sont centrales dans ces écoles philosophiques : la nature et le statut de l'univers (*jagat*), et la relation entre l'homme, son bonheur, et l'univers. Chaque système constate qu'un savoir valide sur la réalité est le moyen le plus efficace d'atteindre la libération (*mokṣa*), c'est-à-dire en fait la libération de la souffrance.

L'Inde s'est particulièrement illustrée à cette période, par ses apports aux mathématiques, à l'astronomie et à la médecine. Une forme de « physique » apparaît pour alimenter les spéculations (comme l'atomisme, la propagation du son et de la lumière, le mouvement). La chimie est bien représentée surtout à l'époque médiévale et notamment à travers l'alchimie.

L'histoire naturelle est toujours restée utilitaire : les observations botaniques sont liées à la pharmacopée et les traités zoologiques concernent essentiellement le soin à apporter aux chevaux et aux éléphants, deux animaux utilisés dans l'art militaire. L'agriculture a fait l'objet d'une attention particulière depuis une très haute antiquité puisque des bèches ou des hameçons de cuivre étaient utilisés par la civilisation établie sur les rives du fleuve Indus au 3^e millénaire avant notre ère.

Ce qui est peu connu, et qui pourtant mérite qu'on s'y intéresse ce sont les démarches épistémologiques, liées aux méthodes de connaissance. Elles sont d'autant plus intéressantes pour nous, qu'elles offrent des spécificités fascinantes, comparées aux modes de connaissance de l'antiquité Greco latine.

Logique empirique, attachée à l'action, au contexte

La formation intellectuelle des traditions savantes indiennes passait par la grammaire et la logique. Dès le IV^e siècle av. J.-C. La coexistence des écoles bouddhiques et brahmaniques a conduit à développer le débat d'idées, et cela a donné naissance à un art du dialogue très sophistiqué (Hulin 2001). La pensée indienne est restée très imprégnée de logique et de linguistique. « La longue tradition de la spéculation argumentée fait partie intégrante de la pensée indienne » (Sen 2006 p 41). Beaucoup des idées proposées dans les textes des écoles classiques sont développées dans une approche philosophique davantage que sous forme de définitions strictes et de vérités inviolables (Chenet 2013). Dans ce cadre non rigide, la démonstration et la logique trouvent une place prépondérante dans l'élaboration du savoir classique. Le Nyāya et la Vaiśeṣika s'intéressent notamment aux méthodes pour connaître la vérité et ont analysé en détail les questions de la certitude, de l'évidence, du raisonnement, de la preuve, de la perception sensible, de l'induction, de la comparaison, de l'analogie, des arguments ou des sophismes.

La relation entre la vérité et l'action est au cœur de leurs préoccupations. D'après Sarukkai (Sarukkai 2005 p13), pour les logiciens indiens, l'enjeu principal est de rendre la logique scientifique c'est-à-dire que les déclarations logiques doivent répondre à des considérations empiriques. Au contraire, la logique dans la tradition occidentale s'extrait des problèmes empiriques. Les logiciens indiens avaient deux grandes préoccupations : la relation entre le signe et le signifié (que le signe soit un mot, un chiffre ou autre chose), et la possibilité de dire quelque chose à partir d'une observation. L'école Dignaga (450 av. J.-C.) en particulier a tourné les questions de logique en questions de sémiotique : l'inférence est reliée aux signes, elle survient quand nous en venons à croire à quelque chose que nous ne percevons pas directement.

Nous élargissons par elle nos capacités peElles des signes qui présentent des connexions avec le signifié, alors que dans la tradition occidentale, le signe a une nature majoritairement arbitraire.

Ces formes de logique, en particulier l'école Nyāya, proposent une approche très empiriste : chaque inférence doit être ancrée dans une observation, un exemple. Dans cette école, ce qu'on traduit par connaissance est ce qui s'analyse au moyen de quatre facteurs : l'agent de connaissance, le connaisseur, l'objet connu, le moyen de connaissance, le contexte dans lequel ces trois premiers facteurs s'intègrent. Le contexte est donc cité spécifiquement comme l'un des quatre facteurs de la connaissance. Voici un exemple de syllogisme Nyāya (Belzile 2009):

1. Il y a du feu sur cette montagne
2. Car il y a de la fumée là
3. La fumée va toujours avec le feu, témoin la cuisine
4. C'est aussi le cas ici
5. Donc il y a du feu là.

Grâce à la troisième ligne, on n'établit pas la simple existence générale et éternelle du feu, mais le fait qu'il y a du feu sur cette montagne-ci, plus exactement que la montagne est flambante. Et c'est tout cela qui affecte la connaissance. L'expression « la montagne flambante » montre linguistiquement l'importance de ce que nous nommons ici contexte, lequel n'est donc pas une sorte de décor de l'action cognitive, mais la condition même pour que l'inférence soit réellement posée (Belzile 2011). Le contexte est différent dans chaque expérience de connaissances. L'existence nécessaire d'un contexte particulier conditionne le caractère irrémédiablement unique de l'expérience de connaissance, empêche toute universalité et s'oppose à toute généralisation. L'Inférence ne va pas permettre d'établir une loi générale applicable partout et toujours. L'acte de connaissance est donc un événement singulier qui dépend du contexte, de la même manière qu'il dépend de l'observateur. (Nous retrouverons cette question de la subjectivité lorsque nous analyserons les points des physiciens contemporains sur l'observateur en mécanique quantique). À la différence du raisonnement aristotélicien (syllogisme), le raisonnement dans les traditions savantes indiennes a aussi une forme valide, mais le fait d'introduire un exemple introduit également un élément de vérification empirique. Par lui le savant chercherait à rendre son raisonnement non seulement valide, mais vrai (Belzile, 2011). Il s'agit donc, par la volonté de se rattacher au contexte, de chercher la vérité. Et celle-ci n'existe pas en dehors des singularités.

Une pensée dialogique, non duelle

Les formes de logique de l'époque classique se font remarquer par la place qu'elles laissent à la pensée dialogique plutôt que duelle (vrai/faux, blanc/noir, etc.). Par exemple, la logique bouddhiste *Catuṣkoṭi* propose des démonstrations sous la forme d'un tétralèmne :

Le monde est fini (A)

Le monde est infini (non-A)

Le monde est à la fois fini et infini (A et non-A)

Le monde n'est ni fini ni infini. (ni A ni non-A)

La compréhension bouddhiste des phénomènes, même solidement matériels, n'est pas celle d'Aristote, qui croit à l'essence fixe de l'être. Le Bouddhisme enseigne l'impermanence, le flux constant des phénomènes. Les troisièmes et quatrièmes règles du *Catuṣkoṭi* (A et non-A, ni A ni non-A) font subitement perdre à l'objet son identité, sa stabilité. Cette logique autorise en effet la possibilité que la thèse contradictoire soit dénuée de sens, voire les deux thèses en même temps ! Cette logique quadruple souligne l'impossibilité de décrire un objet d'une manière définitive. On trouve des positions analogues, mais plus complexes dans les écoles indiennes de l'époque classique : la septuple prédication des jaïns ou la quintuple des sceptiques (Belzille 2011 p4). Dans la logique Bouddhisme *Catuṣkoṭi*, une proposition A peut exister corrélativement à son contraire. Cette pensée s'appuie sur l'idée que tout change en permanence même si cela est imperceptible pour nos sens. Êtes-vous la même personne que celle que vous étiez il y a 15 ans ? Sous cet angle, A peut être autre que lui-même : non-A. À en devenir n'est ni le même ni un autre que ce qu'il était. Tous ces arguments consistent à expliquer que les objets ne peuvent pas exister de manière indépendante de l'esprit. La forme ressemble aux syllogismes aristotéliens, mais elle repose sur des principes métaphysiques différents de la logique aristotélienne. Tout objet change d'un moment à l'autre même si cela est imperceptible pour nos sens. L'abandon des cogitations logiques, et des passions qui s'y investissent, est donc l'effet bénéfique du passage contemplatif au-delà des limites de la pensée conceptuelle ordinaire (Schnetzler 2008). Pour saisir l'importance de cette logique non duelle, il faut comprendre ce qui se joue dans la relation entre le sujet et l'objet dans la pensée savante indienne. Elle accorde plus d'importance au processus de connaissance et au processus dialectique qu'aux qualités de l'objet. Penser en termes de dualités n'est pas courant dans les traditions savantes indiennes. Dans les traités savants classiques, aucune des listes de catégories ne contient moins de trois articles et, un point commun frappant, contrastant particulièrement avec le dualisme insistant des typologies occidentales : « trois semble être le nombre irréductible des propriétés ou des composants avec lesquels les hindous pensent confortablement les affaires humaines » (Marriott 1990 p12) . Ainsi, des mesures binaires (tout-

ou-rien) de la présence ou de l'absence totale d'un constituant s'appliquent rarement, des mesures analogiques ou proportionnelles seront généralement nécessaires pour exprimer la contribution de tous ces éléments qui sont à concevoir comme des variables.

Le langage avant tout

Expliciter un langage qui exprime la profondeur du monde est un objectif fondamental pour les traditions philosophiques de l'Inde. L'idée que tout ce qui est connaissable est exprimable en langage est notamment revendiquée par les Nyāya et les grammairiens Bhartr̥hari. Ceux-ci développèrent une théorie des mots, des phrases et du sens, de la connexion entre les mots et leur sens. Les logiciens et les grammairiens s'attachent à définir le langage du monde.

Espace, matière et temps

*« La religion brahmanique est, après tout, plus une physique qu'une véritable religion »
(Filliozat, 1955).*

Pour la plupart de ces écoles de pensée, le monde est le produit d'un processus cosmogonique où les « grands éléments » (*mahābhūta*) apparaissent selon un ordre précis, en correspondance avec un organe de perception. L'analyse de la matière en termes de cinq éléments n'est pas objective, mais subjective, dérivé du contact de la matière avec les sens (Lyssenko 2004). Presque toutes ces écoles se penchent sur la nature des particules élémentaires. La plupart ont promu l'idée que la matière est composée d'*aṇu* (« minuscule » en sanskrit), une particule infinitésimale, unité infime de matière. Ce constituant le plus fondamental de la matière pour le Vaiśeṣika, est considéré comme indestructible et éternel. Les atomes sont imperceptibles et leur existence est déduite du processus de division et du refus logique de la régression à l'infini (Lyssenko 1996). En s'agrégeant, les *aṇu* produisent les molécules et l'univers visible qui résultent donc de la combinaison de ces particules de terre, d'eau, de feu et d'air¹⁶. Ils peuvent ainsi se désagréger en leurs constituants ultimes. Les différents types de particules possèdent certaines propriétés caractéristiques (*guṇa*) de leur substance telles que valeur numérique, quantité, individualité, masse, gravité, fluidité (ou son opposé), viscosité (ou son opposé), vitesse (ou quantité de force de mouvement (*vega*))... Assimilées à des formes sphériques,

16 Le Praśastapāda Bhasya décrit la formation des corps physiques à partir des atomes (*aṇu*) à travers les dyades (*dvyānuka*) et les triades (*tryaṇuka*) par une série de causes à effet. La position des atomes est fonction de la qualité des corps.

elles sont animées d'un mouvement vibratoire et rotatif. Elles ont une tendance innée à s'unir pour former des molécules homogènes tant qu'ils ne sont pas soumis à l'influence des corpuscules de chaleur. Elles ont alors tendance à former des agrégats plus vastes de substances hétérogènes provenant de divers éléments.

Le développement particulier des chiffres et des mathématiques

Les mathématiques étaient soumises aux mêmes critères de vérité que les autres formes de savoir (perception directe, inférence, analogie, témoignage de vérité). Cela signifie que l'idée de preuve mathématique est quelque peu différente des chaînes formelles de déduction de la géométrie grecque. Les assertions mathématiques peuvent être justifiées selon différents critères philosophiques et parfois ne sont pas justifiées du tout. Cela ne veut pas dire que la démonstration rigoureuse et la logique formelle étaient inconnues des mathématiciens indiens. Mais il n'y avait pas de structure conventionnelle de preuve invoquée comme essentielle à la validation des énoncés mathématiques. La perception vraie, le raisonnement et l'autorité étaient supposés s'harmoniser les uns les autres et chacun avait une part dans le support de la vérité mathématique (Pokfer 2009). Le développement des mathématiques en Inde a été permis par un terrain propice :

- un usage ancien des nombres décimaux, provenant de la période védique,
- des débats philosophiques et cosmogoniques poussés,
- une habitude du langage formel avec la théorie linguistique (cf. grammaire de Panini),
- le rôle puissant du symbolisme et de l'abstraction dans l'art et l'architecture,
- les théories épistémologiques et l'usage de la classification issues du Nyāya-Vaiśeṣika,
- le développement précoce de l'astronomie en lien avec les rituels védiques.

Les chiffres indiens (1 à 9) ont été écrits pour la première fois vers les années 400. On les appelle les chiffres « Arabes » parce qu'ils sont passés par les pays arabes avant d'arriver en Europe, mais ils sont bien indiens. La numération écrite comporte des chiffres particuliers non seulement pour chaque unité, mais encore pour chaque dizaine et chaque centaine, les nombres 2, 20, 200, etc. sont dotés chacun par un symbole propre. Une des grandes découvertes des Indiens est le zéro. L'emploi du zéro est attesté au début du sixième siècle. Un zéro avait déjà été employé par les Babyloniens, mais les Indiens en font un chiffre de position qui permet de multiplier un autre chiffre par 10. À cette époque, on l'appelle « sunya » qui se traduit par « vide » en sanskrit. Ce zéro est non seulement le « vide » ou « quantité nulle », mais aussi un nombre à part entière. Bhaskara (1114 - 1185) découvre que le zéro et l'infini sont intimement liés par le fait que $1/0$ n'est autre que l'infini.

Les traditions savantes entre la période classique et la période coloniale

Les dix siècles entre -500 et +500 ont été une période faste pour la pensée savante indienne. Ensuite, ces traités seront périodiquement commentés et expliqués pour les mettre au goût du jour. Du XV^e siècle à la fin du XVIII^e siècle, la science indienne a continué à être largement cultivée dans toutes les contrées de l'Inde et même à se propager dans quelques-uns des pays d'influence indienne. Mais elle s'est très peu renouvelée. La tradition savante ancienne était conservée, mais, subissant la concurrence des sciences étrangères en particulier d'origine musulmane, elle était gardée surtout comme un bien propre à opposer à l'apport étranger. La menace étrangère renforçait un traditionalisme strict : il importait moins d'accroître sa science que d'en affirmer sa valeur face aux doctrines importées. Beaucoup d'ouvrages scientifiques de l'époque ne combattent pas les doctrines nouvelles, ils les ignorent. Mais, même dans ces milieux où l'on ne prenait pas connaissance des idées étrangères, l'existence de celles-ci était assez ressentie pour développer un attachement plus rigoureux aux enseignements traditionnels. D'autre part, les connaissances importées par les maîtres étrangers étaient souvent d'ordre pratique, recettes médicales ou alchimiques, tables de calcul astronomiques, etc. La tradition savante ne faisait que les absorber dans sa masse, sans y trouver matière à révision de ses doctrines générales. Par exemple l'Ayurveda se voit complétée par des apports extérieurs : tantra, alchimie, etc. La lecture du pouls, venue d'Égypte et de Chine, s'insère au diagnostic. De nombreuses plantes étrangères s'incorporent aux remèdes traditionnels. Par exemple, le piment qui s'y introduit au XVII^e siècle et qui, peu après, est considéré comme ayant toujours fait partie de l'usage¹⁷.

Au Sud de la péninsule indienne, dans le domaine des cultures dravidiennes, l'influence musulmane a été beaucoup moins forte, elle a même été contrebalancée largement par une renaissance brahmanique dans l'empire de Vijayanagar du XIV^e au XVII^e siècle. Mais cette renaissance a été en général traditionaliste et non rénovatrice. Elle a contribué à renforcer dans le Sud des enseignements classiques sanskrits suivant les tendances conservatrices du Nord en garde contre l'apport islamique (Filliozat et Renou 1985).

J.Fryer, un voyageur européen du XVII^e siècle écrivait à propos des Indiens : « l'arithmétique étant la science la plus profitable, et la mieux comprise par eux, ils ont pour elle une propension

17 Kapil Raj, séminaire EHESS, Paris, février 2012.

naturelle, et en un instant, ils calculeront sans l'aide d'une plume ou d'encre les sommes les plus difficiles sans jamais faire de pause »¹⁸.

Spécificités des sciences indiennes anciennes

En étudiant les traditions savantes indiennes, nous avons pu dégager certaines spécificités :

Le but ultime est la transformation du Soi, pas de la nature

La quête de la réalité ultime prend le pas dans l'Inde classique sur la quête de connaissance empirique, qui reste sous l'empire de la *maya* (l'*illusion*). La maîtrise de la nature n'est pas un enjeu des sciences dans les traditions savantes anciennes, comme cela a pu l'être depuis plusieurs siècles en Europe. L'objectif du savoir –*śāstra*- avait pour but d'améliorer les qualités de l'esprit. Les spéculations de l'âge classique ont pour finalité la libération (*mokṣa*) qui s'exprime en une prise de conscience radicale de la nature véritable du sujet, de son identité fondamentale (Raina 2003)). « La philosophie indienne fournit des informations sur la structure mesurable et les pouvoirs de la psyché, elle analyse les facultés intellectuelles de l'homme et les opérations de son esprit, elle évalue les diverses théories de l'entendement humain, établit les méthodes et les lois de la logique, classifie les sensations, étudie les procès par lesquels les expériences sont perçues, assimilées, interprétées, comprises. Son souci majeur en contraste frappant avec les préoccupations des philosophes modernes en Occident a toujours été, non d'informer, mais de transformer : changer radicalement la nature de l'homme et, en même temps, rénover sa manière de comprendre le monde extérieur et sa propre existence, transformation aussi complète que possible, qui aboutira, si elle réussit, à une totale conversion, à une renaissance » (Zimmer 1978 p38). Il y a davantage une recherche de maîtrise de l'esprit que de volonté de maîtriser la nature. Dans le Vedānta, la réalité est structurée hiérarchiquement, elle est divisée en niveaux empiriques (*vyāvahārika*) et ontologiques (*pāramartha*) c'est-à-dire en différents domaines de la réalité. Le savoir perçu par les sens – donc ce qui se rapproche le plus de l'idée de science - n'est pas la réalité, et il faut lever le voile de la *māyā*- l'illusion des sens- pour arriver à la Vérité. L'illusion, *avidyā* est ignorance ou méconnaissance. Dans la conception bouddhiste, le *samsāra*, le monde des phénomènes, n'est pas la réalité ultime. La pure réalité est indicible et à la limite inconnaissable.

Un savoir préexistant

18 Cité dans Ahsan Jan Qaisar, « The indian response to european technology and culture » (AD 1498-1707) p10 in (Varma 2005 p188)

Dans les traditions classiques, le savoir peut être obtenu uniquement par la perception, l'imagination, la déduction et l'intuition, sans éprouver le besoin d'inventer des instruments matériels dépendants des sens. D'après S. Pollock (1985), en Inde, le savoir est considéré comme préexistant, tout est contenu dans les textes védiques, le *śāstra*. D'après Raj (1988), le concept védique de "savoir" est statique, car il s'agit de « voir », plus que de développer une connaissance.

Commensurabilité conscience-matière

La majorité des traditions de pensée indiennes accordent une partie non matérielle à la conscience. Pour l'anthropologue de l'Inde M.K. Mariott « les sciences hindoues généralement postulent un non-élément - le processus omniprésent, réflexif, immatériel, constant, généralement insinué comme «soi» ou «âme» (brahman, atman), ou «conscience» (purusa). Sa fonction de conscience passive, totale est normalement disponible pour tout humain libéré du monde fluctuant des substances » (1990 p15). Dans la pensée Jaina, la matière n'est pas le seul composé existant (*astikāya*). Les autres réalités espace, temps, mouvement et repos, ainsi que l'âme sont des composés (Masson 1925). Enfin, dans le shivaïsme du Cachemire, non seulement la « conscience » fait partie intégrante de l'univers, mais elle en est le substrat. (Poggi 2012).

Si la matière et la conscience rentrent dans deux catégories bien distinctes, elles peuvent aisément se mélanger, bien plus que le corps et l'âme de la tradition judéo-chrétienne. Dans l'Abhidharma bouddhiste, « l'impression d'amalgame subjectif-objectif est confortée par une surclassification : la catégorie des forces est mélangée : durée, pouvoir vital, conditionnements psychiques, etc. (Bitbol 2010). Les forces peuvent donc aussi bien être matérielles que spirituelles. La non-division se voit consacrer par le vocable *nāma-rūpa* (nom et matière ou nom et forme). Seuls les composés sont *murta* – doués de forme. Le Nyāya-Vaiśeṣika s'évertue également à décrire les composés et qualités des éléments du monde, qu'ils soient matériels, spirituels ou ontologiques (temps, espace, etc.) (Rabourdin 2012). Les agrégats comprennent « la matière sous différents aspects », « les sentiments ou sensations », les conceptualisations, les formations, la ou les consciences discriminatrices. La liste semble mélanger des éléments physiques, des éléments mentaux, et d'autres éléments (comme les formations) au statut incertain » (Bitbol 2010). C'est aussi ce qui surprend face aux classifications des écoles de pensée du Vaiśeṣika et du Nyāya, où les 4 éléments s'élargissent au nombre de 9, dont l'âme et l'esprit. Ces deux exemples de l'Abhidharma bouddhiste et du Nyāya-Vaiśeṣika brahmanique sont caractéristiques de l'absence de rupture qui existe entre sujet-objet, intérieur-extérieur,

conscience-matière. Les deux mondes matériels et immatériels s'interpénètrent même s'ils ne sont pas connaissables par les mêmes outils.

Pour le philosophe et orientaliste, Masson-Oursel, ce qui particularise le plus foncièrement la pensée indienne, même encore aujourd'hui, « c'est un postulat de pénétrabilité universelle » entre les éléments de l'esprit et ceux de la matière. « Remarquons, explique Masson, que si cette théorie nous dérouté, c'est parce que nous autres Européens sommes obsédés par le préjugé d'une opposition complète entre corps et âme, étendue et pensée - préjugé, soit inexistant, soit beaucoup moins incrusté dans la mentalité indienne » (Masson-Oursel 1925 p344). Une telle conscience est, bien sûr, l'objet d'une abondante littérature spéculative, mais a seulement commencé à être un foyer d'ethnographie (Marriott 1992).

Importance de l'ordre et de la classification

Il est incontestable qu'il existe en Inde une grande tradition de classification. La pensée indienne classique n'a eu de cesse de classer, ordonner, ranger les éléments du monde. Le domaine de la matière comprend les quatre éléments (*bhūta*) – eau, air, terre, feu-, mais également parfois d'autres éléments non matériels comme *ākāśa*, le temps, l'âme ou l'espace, les facultés sensorielles et les objets de ces facultés comme le visible, l'audible, le tangible, etc. On trouve trois «énergies» (*guṇa*), trois constituants (*doṣa*) déterminant la nature physiologique d'une personne, trois + un buts de l'homme (*puruṣārtha*), quatre «classes» (*vara*), quatre "étapes" (*āśrama*), cinq «sens» (*indriya*), cinq «gaines» (*kośa*), six «saveurs» (*rasa*), salé, sucré, aigre, doux-amer, amer, épicé les neuf sortes d'émotions (*blāva*), trois sortes d'humeurs (*datu*): flegme, bile, vent, etc. La figure 3 montre un autre exemple de classification, décrivant la palette des phénomènes existant dans l'univers, en fonction de différents types de critères (qualité, substance, mouvement, etc.). L'usage des classifications, comme l'a expliqué Filliozat plus haut, est beaucoup basé sur l'analogie.

| <i>Samavāya</i> inherence, union | | |
|--|---|--|
| <i>Sāmānya</i> universalité, commun aux substances | | <i>Vīśeṣa</i> Particularité, spécificité |
| <p>Dravya : substance</p> <p>Atomiques Terre (<i>pṛthivī</i>) : odeur Eaux (<i>āpas</i>) : goût Feu (<i>tejas</i>) : forme, vue Vent, air (<i>vāyu</i>) : touché</p> <p>Non-atomiques, unitaires et indestructibles Éther (<i>ākāśa</i>) : son Temps (<i>kāla</i>) Espace (<i>dīś</i>)</p> <p>Âme (<i>ātman</i>) omniprésent et éternel Esprit (<i>manas</i>) éternel mais de dimension infiniment petite</p> | <p>Guṇa : qualité</p> <p>couleur, forme (<i>rūpa</i>) goût (<i>rasa</i>) odeur (<i>gandha</i>) contact (<i>sparsa</i>) nombre (<i>sankhyā</i>) dimension (<i>parimāna</i>) séparation (<i>prthaktva</i>) conjonction (<i>sanyoga</i>) disjonction (<i>vibhāga</i>) éloignement (<i>paratva</i>) proximité (<i>aparatva</i>) jugement, intellect (<i>buddhi</i>) plaisir (<i>sukha</i>) peine (<i>duḥkha</i>), désire (<i>icchā</i>) aversion (<i>dveṣa</i>) effort (<i>prayama</i>), [effet latent, inertie, faculté (<i>sankāśra</i>) justesse (<i>dharma</i>) non-justesse (<i>adharma</i>) fluidité (<i>āravatva</i>) lourdeur (<i>gurutva</i>) viscosité (<i>sneha</i>) son (<i>śabda</i>)</p> | <p>Karman : activités</p> <p>Associé à des particules matérielles ou des organes de l'esprit:</p> <p>élévation vers le haut attraction vers le bas contraction expansion changement de place.</p> |

Figure 3: Les différentes catégories et leurs correspondances dans le Vaiśeṣika (Rabourdin 2012).

La pensée en relations

Dans la logique gréco-latine dont l'Europe a hérité, la connaissance procède d'un mouvement allant du particulier au général. Dans cette économie du savoir, les choses, les faits physiques, les êtres vivants sont classés en fonction d'un principe de division systématique (par exemple, la famille, le genre, l'espèce) conduisant à une abstraction de plus en plus grande et à un nombre de catégories de plus en plus restreint (Ramanujan 1989). L'appréhension des objets de manière de plus en plus isolée, de manière à conduire à des formes plus simples d'analyse, est ce qui s'appelle aujourd'hui le réductionnisme, c'est un principe réduisant la connaissance des ensembles à la connaissance des parties. Au contraire, pour les penseurs indiens de l'époque classique, l'objectivation du monde consiste à multiplier les relations. Ainsi, en Ayurveda (science de la longévité), les critères de mise en ordre du vivant sont des séries de saveurs, de qualités, d'actions thérapeutiques ou pathogènes. Dans cette tradition savante, « la taxinomie est incluse dans la pharmacie, celle-ci étant à son tour subordonnée au jeu complexe des saveurs (*rasa*) et des vertus curatives. Et le discours ayurvédique a pour objet la science des combinaisons entre toutes ces propriétés » (Zimmermann 1982). L'anthropologue Marriott, en

classifiant la catégorie indienne de savoir, explique que la « miscibilité est une propriété générale du monde hindou » (Marriott 1990 p19) il suggère que toute entité se trouve non auto-suffisante, incomplète quand elle est liée à elle-même, et dépendante pour ses qualités et processus des échanges avec les autres. Dans le monde hindou, tout est connecté parce que « toutes choses, même considérées comme immatérielles telle que le temps ou l'espace affectent les autres choses » (p22). Les connaissances spécifiques sont reliées aux ensembles dont elles font partie, c'est ce qui correspond à une approche systémique. Pour le *NyāyaKandali*, 2 n'est ainsi pas la somme de 1 +1 mais constitue « un tout indépendant » (nous retrouverons d'ailleurs cette idée plus loin en mécanique quantique, mais nous verrons que les physiciens indiens n'y souscrivent pas davantage que les physiciens français, cf. p221). L'idée d'interconnexion est sous-jacente à la notion indienne de *ṛta*, que nous avons vue plus haut, qui représente un agencement cosmique sous la forme d'une roue et d'un tissage (Siburn 1989). Les philosophies indiennes ont toutes admis un principe coextensif à la totalité de l'être (*vibhu*), une sorte de jointure. C'est un agent de connexion intégrale, soit omniscient, soit omnipénétrant. Le cinquième élément – ou plutôt le premier- *Ākāśa* (Rabourdin, 2012) ou bien *prāṇa* est une énergie vitale universelle qui imprègne tout, et que les êtres vivants absorbent par l'air qu'ils respirent.

Zimmermann (1979) montre que dans les textes médicaux indiens, le corps est un lieu de rencontre, une conjonction d'éléments, ils ont une physiologie, mais pas une anatomie. Bien que « les relations » soient universelles dans la pensée humaine, leurs logiques n'ont pas été uniformément perçues et développées. Les Indiens ont régulièrement théorisé sur les relations d'ordre en grammaire, en musique, ou dans les autres disciplines, en décrivant les phénomènes facilement avec la permutation des symboles verbaux ou algébriques (Marriott 1990).

La connaissance est locale et contextuelle

Certaines cultures appuient de préférence leurs raisonnements sur des règles générales, d'autres semblent privilégier des règles contextuelles, c'est le cas des textes savants de la période classique indienne. Kakar, dans sa tentative de décrire une « identité indienne », soutient que parmi les éléments principaux qui fondent l'identité indienne se trouve : « une pensée relativiste attachée au contexte » (Kakar et Kakar 2007 p37). Ce qui frappe dans l'ensemble des traditions savantes indiennes, c'est l'importance accordée au contexte. Toute connaissance s'inscrit dans un contexte. Comme s'il y avait une crainte de ne pas joindre les idées au monde. Ce sont des approches très empiristes. Cette règle ne s'applique pas par une incapacité à tirer des règles générales à partir du particulier, de cas concrets, mais par le fait que cela ne leur paraît ni sensé

ni instructif (Kakar et Kakar 2007). Un tel accent omniprésent sur le contexte est, estime Ramanujan (1989), lié à la préoccupation hindoue de la *jāti* -la logique des classes, de genres et d'espèces, dont les *jāti* humains (castes) sont seulement un exemple. Diverses taxinomies de saison, paysage, temps ou qualités (et leurs bases matérielles), les goûts, les personnages, les émotions, les essences (*rasa*), etc., sont la base de la pensée travaux de la médecine, de la poésie, de la cuisine, de la religion, de l'érotisme ou de la magie. Les traditions savantes hindoues, bouddhistes, ou jaïna s'intéressent prioritairement à l'étude des classes ou essences (*jāti*). Ils n'abordent jamais la question de savoir s'il existe des universaux d'autres types (Dravid 1972 p347). D'après (Marriott, 1990) les différents états intermédiaires imparfaits et inconstants sont caractéristiques des modes de pensée indiens, et donc « les processus, les états intermédiaires, plutôt que les structures fixes ou polarisées, sont à la base de tout »

D'après Sarukkai, pour les logiciens indiens, l'enjeu principal était de rendre la logique scientifique c'est-à-dire que les déclarations logiques doivent répondre à des considérations empiriques, contextuelles. Au contraire, la logique dans la tradition occidentale s'extrait des problèmes empiriques (2005 p13).

Nous avons vu plus haut, que les logiques indiennes étaient particulièrement attachées au contexte.

Dans le Nyāya par exemple le contexte est la condition même pour que l'inférence soit réellement posée (Belzille 2011). Le contexte est différent dans chaque expérience de connaissances. L'acte de connaissance est donc un évènement singulier qui dépend du contexte, de la même manière qu'il dépend de l'observateur.

Jusqu'au XIX^e siècle, les textes d'astronomie, de mathématique, de médecine, de philosophie, autant que les épopées, ouvrent avec des épisodes qui vous disent pourquoi et dans quelles circonstances elles ont été composées – même si ce n'est ni vrai ni précis¹⁹.

Le même genre de sensibilité au contexte s'affiche dans le domaine médical. Pour ne pas être malade, il faut vivre en harmonie avec son environnement qui est constamment changeant. Il faut donc connaître et s'adapter à son contexte. De même, dans la prescription, il n'y aura pas de remède général pour un symptôme donné, mais un remède pour chaque cas singulier, qui

19 Autre exemple, en géométrie, l'Ārya-Siddhānta (env. V^e siècle) donne souvent un exemple dans un contexte au lieu de la règle générale. Par exemple au lieu de donner la valeur de de Pi, il écrit « 62830 est approximativement la circonférence d'un cercle dont le diamètre est 20 000 ». Les *granitasārasamgraha* (IX^e siècle) regorgent de poèmes mathématiques très descriptifs quant au contexte : "les branches pliaient sous le poids des fruits et fleurs sur les jambosiers, les citronniers, les bananiers, les aréquiers, les jacquiers, les dattiers, les Phoenix des marais, les lataniers, les muscadiers, les manguiers et bien d'autres arbres, autour des bassins de Lotus où erraient des abeilles, des familles de perroquets et de coucou, de leurs chants divers remplissaient tout l'espace; des voyageurs fatigués à la lisière de ce bois rafraîchissant et pur entrèrent joyeux. Ils étaient 23, ils comptèrent 63 régimes de bananes, ils ajoutèrent 7 bananes et se partagèrent le tout à parts égales. Dis la mesure d'un régime » (traduction Renou cité par (Angot 2001)).

dépend de la typologie de l'individu malade. Si un traitement échoue, il ne perd pas foi pour autant dans son efficacité, le jugeant simplement non adapté à la circonstance (Kakar et Kakar 2007).

La connaissance est subjective

Si la connaissance est contextuelle, il semble alors logique qu'elle dépende aussi de l'observateur qui cherche à connaître, car, lui-même fait partie du contexte. Tout en cultivant l'art de la logique et l'administration de la preuve rationnelle, les penseurs indiens reconnaissent l'expérience personnelle (*anubhava*) comme l'une des trois sources de connaissance vraie aux côtés des textes révélés et de la parole du maître (Filliozat 1957). Ainsi, Abhinavagupta, savant et philosophe cachemirien (X^e XI^e s.), déclare-t-il dans son commentaire aux versets d'*Utpaladeva* que la plus importante des trois est sans contexte l'expérience (Poggi 2012). Cette revendication de la valeur de l'expérience vécue tient une grande place dans l'histoire des traditions savantes indiennes. Il y a une grande différence entre les lois de Kepler et la connaissance d'Abhinavagupta : les premières expriment un fait qui existe préalablement à son découvreur et indépendamment de lui, la seconde note une connaissance qui n'existe pas sans son auteur, qui lui appartient en propre et relève de lui à jamais. La connaissance d'Abhinavagupta est ce qu'il pouvait vivre et dont il pouvait rendre compte. L'objet est intimement lié au sujet qui l'observe (Filliozat, 1957).

Or, ce que le connaisseur a vécu n'est pas transmissible par les mots. Dès lors on comprend combien la science objective peut différer de ce savoir. Un scientifique « moderne » tâche de dire dans un langage conventionnel quelque chose sur quoi chacun s'accorde, une loi dépassant la singularité des objets qui s'offrent banalement à nos yeux. Dans la plupart des *darśana* - école de pensée ou point de vue doctrinal -, le pôle objectif est si évanescent que finalement la connaissance suprême est celle d'une pure subjectivité, une vérité incommunicable (Belzille 2011). Cela vaut avec des variantes pour tous les savoirs développés dans l'Inde traditionnelle y compris ceux qui peuvent nous apparaître comme relevant des sciences exactes tels que les mathématiques l'astronomie, etc. Le Nyāya que, sans observation directe d'un objet par les sens, c'est à dire sans relation directe entre l'observateur et l'objet, la vérité ne pouvait pas être perçue. Il accordait plus d'importance au processus de connaissance et au processus dialectique qu'aux qualités de l'objet (Prasad 1987). Pour les traditions savantes bouddhistes, toutes les écoles Mahayana et Vajrayana estiment qu'on ne perçoit jamais des objets en soi, mais que l'esprit joue toujours un rôle actif dans l'acte de percevoir. L'objet de la connaissance véritable est justement d'atteindre cette non-séparation (Arguillère 2005).

Hétérodoxie : complémentarité des savoirs et scepticisme

Comme nous venons de le voir dans le cas de la logique, les controverses ont fait évoluer les positions doctrinales des écoles de pensée. Les sources de la connaissance valide s'appuient sur une démarche argumentative et dialectique. « De fait la remarquable vivacité de la tradition de la dialectique peut être perçue dans toute l'histoire de l'Inde, même lorsque des conflits et des guerres ont suscité de terribles violences » estime F. Chenet (2013). Cette ouverture, nous la nommons hétérodoxie ou inclusivisme. C'est Paul Hacker qui en 1957 introduisit le concept d'inclusivisme. Il s'agit d'un concept qui exprime l'acceptation d'une pluralité de vérités. À l'inverse de l'exclusivisme qui n'accepte qu'un seul chemin de vérité et place tous les autres dans l'erreur. Les grands historiens de l'Inde comme Halbfass ou Oberhammer ont beaucoup discuté sur l'inclusivisme indien, sa capacité à intégrer de nouveaux dieux, nouvelles sciences, nouvelles cultures. Ils estiment dans l'ensemble que c'est un trait de civilisation du sous-continent indien. En médecine, les dizaines de modes de guérison (alimentaire, médicinal, religieux, magique, astrologique) appliqués à une maladie sont parfois appelés «pluraliste» par les observateurs appliquant les distinctions occidentales (Beals 1976); cependant un patient indien peut essayer tous les modes, pour impliquer les différents niveaux de réalité tels que le rapportent les nombreuses études anthropologiques et cliniques (Egnor 1983). Il existe une multitude de langues en Inde (325 langues parlées, 22 langues officielles), chaque individu en parlant au moins deux et en comprenant au moins quatre. Les formes religieuses sont extrêmement variées, même si la plupart peuvent se regrouper sous le vocable de « religion hindoue » qui a assimilé beaucoup d'éléments différents. Elle a souvent acclimaté les idéologies extérieures, cultes locaux ou étrangers. Il n'y a pas un texte sacré, comme dans les religions monothéistes, mais beaucoup de textes, beaucoup de Dieux, etc. « Fondamentalement, affirme Michel Hulin, il y a cette idée qu'on ne peut imposer sa loi à autrui. Grande différence avec l'occident, il n'y a jamais eu quelque chose qui ressemble à l'inquisition ou à l'hérésie en Inde. Les gens ont toujours pensé ce qu'ils voulaient. Il n'y a pas d'orthodoxie, seulement une orthopraxie, l'obligation de faire ce qu'il convient dans chaque situation » (Hulin 2009). On voit dans l'impressionnante pluralité religieuse souvent davantage une source de superstition qu'une invitation au scepticisme (Sen 2006). Pour continuer à vivre dans une telle diversité, il faut accepter les autres formes de pensée, invitant par là le scepticisme. Cela ne veut pas dire qu'on ne trouve pas de dogmatisme dans l'histoire indienne. Dans son ouvrage sur l'hindouisme et le bouddhisme, Max Weber écrit que « Non seulement il existe des cas d'exclusion, mais l'attitude conciliatrice répond à des stratégies visant à garantir la survie d'un savoir et des

spécialistes qui le pratiquent » (Weber 2003, p16). Certes, l'hétérodoxie n'est pas allée sans dogmatisme dans l'histoire de la pensée indienne. Néanmoins comme l'écrit A. Sen, « nier l'importance de l'hétérodoxie interdit de comprendre convenablement l'héritage intellectuel de l'Inde moderne » (2006 p45). « Sans le scepticisme, on aurait le plus grand mal à comprendre l'histoire de la culture indienne » (Raza and Singh 2012). L'un de nos physiciens interrogés a même écrit un article sur le sujet qu'il a intitulé : « The indian plural mind ».

Voici un résumé à grands traits des spécificités de la science indienne ancienne :

Prise en compte du contexte

Prise en compte du sujet connaissant (l'observateur)

Intérêt pour l'étude des relations, des processus, des états intermédiaires, plutôt que des structures fixes ou polarisées

Dialectique et dialogique plutôt que dualisme

Hétérodoxie (pluralité des vérités)

Usage de l'analogie, des similitudes, des corrélations apparentes

Prévalence du savoir théorique

L'objectif ultime de la connaissance reste la libération

Conception d'une préexistence du savoir.

La science dans l'Inde moderne : écartèlement et émancipation

Nous venons de voir que la science en Inde a été longtemps développée à travers des traditions savantes qui reposaient sur des spécificités propres, au niveau des critères et modes de connaissance. Au moment de l'indépendance, la science a été, dans une plus grande mesure qu'ailleurs, un enjeu d'émancipation et d'identité nationale. En effet, la lutte pour l'indépendance de l'Inde était aussi une lutte pour la résurrection de la civilisation indienne (Salomon et Sagasti 1994). Les techniques et savoirs traditionnels furent mobilisés dans la sphère politique et idéologique de manière plus explicite qu'ailleurs. Nous allons le montrer à travers un panorama historique de la place des sciences dans l'émergence de la nation indienne postcoloniale. Et à travers ce panorama, nous mettrons en lumière la cristallisation des revendications identitaires et traditionnelles autour des valeurs véhiculées par la science moderne. Cela nous permettra de mieux décrire et analyser le rôle de la science aujourd'hui dans le pays.

Durant les premiers temps de la domination britannique, entre le milieu du XVIII^e siècle jusqu'au milieu du XIX^e siècle, la culture britannique en Inde n'était pas politiquement dominante. La plupart des Anglais en Inde vivaient comme des Indiens, s'habillaient à l'indienne, observaient les coutumes et les pratiques religieuses indiennes. Mais lorsque la domination britannique s'enveloppa de valeurs culturelles, un sentiment d'infériorité commença à se développer au sein du peuple indien. Les concepts européens donnaient la primauté à la science dure et les Indiens se sentaient inférieurs scientifiquement. Ils furent nombreux à ne plus croire en leur propre hiérarchie du savoir issue de leur culture. Le psychologue politique et théoricien social Ashis Nandy raconte, dans plusieurs de ses ouvrages, la manière, dont beaucoup d'intellectuels de cette époque, travaillant dans un système d'éducatrices et de valeurs de plus en plus occidentalisées, se trouvèrent écartelés entre leurs traditions et les nouvelles valeurs importées par l'Empire britannique. Les générations antérieures, habituées à vivre avec une pluralité de pensées, cherchaient rarement à démontrer la supériorité des traditions ou des idées indiennes sur celles des autres peuples (Nandy 1995). Même ceux qui rejetaient la culture indienne au profit de la culture européenne ne ressentaient alors pas d'infériorité raciale ou culturelle. Mais l'idéologie coloniale imposa peu à peu une hiérarchie dans les savoirs. Les Indiens eurent la possibilité de s'instruire auprès de la science occidentale et certains en devinrent des scientifiques de pointe. Mais d'après Nandy, en même temps, une contradiction émergeait en eux : d'un côté le modèle scientifique colonial proposait une ouverture d'esprit exprimée dans l'universalisme et le scepticisme rationnel ; d'un autre côté, une fermeture d'esprit se nourrissait d'une foi aveugle dans le paradigme scientifique occidental (Nandy 2007). Pour beaucoup d'Indiens au milieu du XX^e siècle, cette contradiction prit une forme particulièrement douloureuse. Le mathématicien Ramanujan en est une illustration célèbre. Sa vie illustre la tentative de produire une science valide sur une autre base culturelle. Son imprégnation des mathématiques modernes était presque nulle et sa méthode était surtout de l'induction à partir de cas particuliers. Si la partie signifiante d'un raisonnement apparaissait quelque part, et que l'évidence de l'intuition lui donnait la certitude, il s'en satisfaisait. Les chiffres et leurs interrelations, arithmétique, géométrique, algébrique, faisaient partie d'un ordre mythique, magique et cognitif. Ils constituaient un langage qui ne pouvait être formalisé sans règles sacrées (Nandy 1995). Malgré ses méthodes hétérodoxes, il fut élu en 1918 Fellow à la Royal Society. J.C. Bose est également emblématique de cet écartèlement. La revue *Nature* a publié 27 des articles de ce scientifique précurseur et majeur dans le domaine des ondes électromagnétiques, un nombre important comparé à celui des publications des plus grands chercheurs. Or, après 1900, Bose change de domaine de recherche et se tourne vers la

physiologie végétale. Dans son système de valeur traditionnel, la connaissance devait être unifiée. Il produisit des travaux pionniers sur la croissance des plantes et leur réaction aux ondes électromagnétiques. Il créa en 1917 un institut dont l'objectif était de rechercher l'unité ultime qui pénétrait l'ordre universel à travers une vue plus intégrée des mondes organiques et inorganique, et dépasserait le cloisonnement des disciplines. Ce retournement disciplinaire le disqualifia pourtant dans le milieu universitaire.

Il y avait donc à cette époque une ambivalence entre l'adhésion au modèle social et hiérarchique de la science moderne, et ses modes connaissances, et en même temps, le rattachement à des modes plus culturels de savoirs. L'historien Kapil Raj décrit comment les brahmanes à leur manière « s'approprient les idées occidentales et la science pour donner de la crédibilité à leur nouveau statut dominant dans la société indienne » (Raj 1988). C'était aussi un mode d'émancipation vis-à-vis de la puissance coloniale. L'astrophysicien prix Nobel Chandrasekhar (Kameshwar C. Wali 1998), raconte comment « entre 1920 et 1925 nous avons d'un seul coup cinq ou six célébrités internationales. [...] Cela faisait parti du mouvement national de s'affirmer soi-même. L'Inde était un pays asservi, mais en arts et plus particulièrement en sciences nous pourrions regarder l'Occident en face et montrer que nous pourrions l'égaliser. » Les historiens Krishna et Jain (1990) décrivent comment une science nationale indienne s'est développée dans les années 1920 en opposition à la science coloniale britannique autour de quelques leaders scientifiques, principalement en physique, chimie et mathématiques, des sciences considérées comme plus « pures » par les brahmanes. Concernant la physique, des physiciens renommés comme J.C Bose, C.V. Raman, S.N. Bose (un autre Bose, qui donna son nom au condensat de Bose-Einstein) et M.N. Saha font partie de l'école indienne de physique, née aux alentours des années 1920. Sous la direction de Raman (photo figure 4), la physique accède alors en Inde au rang de profession à part entière. Recensant les travaux de physique menés à Calcutta de 1907 à 1917, Raman lui-même observa : « Une véritable école de physique s'est constituée à Calcutta, qui n'a d'équivalent dans aucune autre université indienne et qui aujourd'hui encore ne supporte pas trop mal la comparaison avec celles des universités européennes et américaines » (cité par V.V. Krishna 2001 p256). La première raison de l'épanouissement de la science en Inde en 1920 fut une expression de la conscience nationale et elle dura un certain temps.



Figure 4: C.V. Raman, presidency college, Madras 1931 extrait de <https://cvraman.tributes.in/> mars 2014

À partir de la fin des années 1930, il y eut beaucoup moins de vocations scientifiques. Les étudiants préféraient se tourner vers les carrières administratives. Ce n'était sans doute pas sans rapport avec une nouvelle conception de la science. Sous l'inspiration du Mahatma Gandhi (photo, figure 5), les peuples du sous-continent indien ont été encouragés à faire revivre les pratiques et techniques traditionnelles. Gandhi a été initié à la philosophie et à la science occidentales pendant ses études de droit en Grande-Bretagne, il a fait connaissance avec la critique culturelle occidentale, associée à des noms tels que Ruskin, Tolstoï ou Thoreau. Il a rejeté la science occidentale en recombinaison la critique romantique avec celles de l'orientation «techniciste» et «élitiste» de la science occidentale. Il condamnait le manque de moralité et d'idéalisme de la civilisation occidentale dont la science était, pour lui, un élément central.

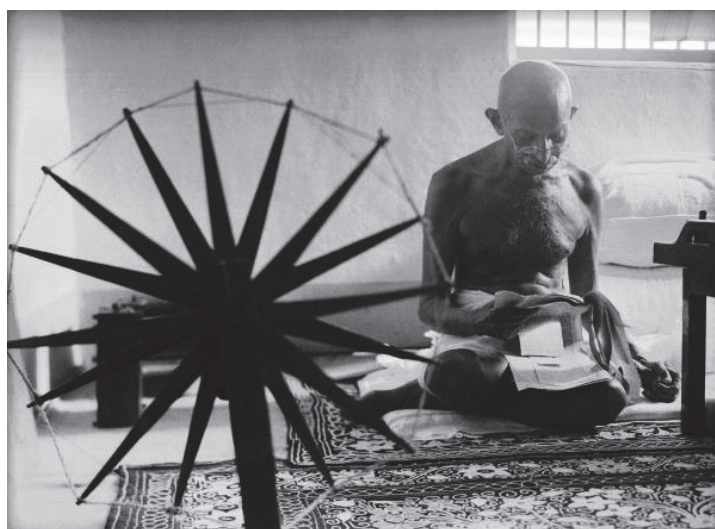


Figure 5 : Mohandas Karamchand Gandhi, Poona, Inde, 1946 (Margaret Bourke-White, Life) extrait de <https://www.pinterest.com/pin/16677461092836941/> janvier 2015.

Contrairement aux dirigeants marxistes de la plupart des autres mouvements indépendantistes d'autres pays, Gandhi a cherché à développer un mode de vie alternatif dans lequel les techniques traditionnelles et les croyances non-occidentales ont eu une place centrale. La technologie traditionnelle était pour lui un mode de connaissance appliquée, meilleur que les sciences modernes sur le plan éthique et cognitif. Pourtant l'Inde n'a pas suivi l'exemple de Gandhi dans les deux premières décennies de l'indépendance. Sous la direction de Jawaharlal Nehru, d'ambitieux efforts ont été faits pour implanter ce que celui-ci appelait « un esprit scientifique dans la société indienne ». Comme d'autres dirigeants post-indépendance dans le tiers monde, l'attitude de Nehru envers la science occidentale était favorable. Il proclamait : «C'est la science seule qui peut résoudre les problèmes de la faim et de la pauvreté, de l'analphabétisme et de l'insalubrité, de la superstition et de coutumes et traditions décadentes, de vastes ressources se muant en déchets, d'un pays riche habité par des gens qui meurent de faim. Je ne vois pas comment sortir de notre cercle vicieux de pauvreté, sauf en utilisant les nouvelles sources d'énergie que la science a mis à notre disposition » (Nehru cité par Krishna and Jain 1990 p7).

Pendant les années 60, un certain nombre de défis ont émergé et remis en question ces stratégies de développement : les guerres avec la Chine et le Pakistan ont favorisé les tendances nationalistes, une variété de mouvements paysans populaires a émergé, la vague internationale étudiante de protestation anti-impérialiste a atteint le pays et le communisme s'est propagé dans certains États, comme le Kerala ou le Bengale, riches en scientifiques. Au début des années 1970, une revitalisation du courant d'inspiration gandhienne fut menée par Jaraprakash Narayan, avec sa «révolution totale» visant à relancer la vie économique dans les villages et les initiatives locales. Les techniques de la révolution verte ne produisaient pas que du bien pour tous. Le renouveau du Gandhisme était un facteur important dans les manifestations contre les grands barrages et les programmes de reforestation sociale parrainés par le gouvernement ainsi que l'émergence de mouvements environnementaux, en particulier les *Chipko*. Un certain nombre d'intellectuels rassemblés au Centre pour l'étude des sociétés en développement (CSDS) déçus par le chemin pris par le développement en Inde, ont commencé à remettre en question le rôle crucial de la science moderne pour le développement de l'Inde. Et leur propos fut bien accueilli en particulier par les étudiants en sciences qui trouvaient leurs connaissances de plus en plus éloignées des besoins de leur pays (MacRobie,1981). Ces pensées contestataires n'étaient pas isolées dans le monde, à la même époque, des gens comme Jacques Ellul ou

Feyerabend s'inscrivent dans la critique technocratique. La publication d'un manifeste en faveur de l'esprit scientifique s'attire l'immédiate réplique d'un contre-manifeste en faveur de l'esprit humaniste (Krishna 1996 p283). En 1979, le journaliste de Bombay et activiste politique Claude Alvares, qui était allé en Hollande pour étudier la philosophie, fournit ce qui allait devenir un catalyseur pour la nouvelle pensée critique indienne dans sa thèse de doctorat, *Homo Faber: la technologie et la culture en Inde, la Chine et l'Occident de 1500 à 1972*. Le livre retrace l'évolution historique de la technologie en Inde, en Chine et en Angleterre et cherche à montrer comment les traditions culturelles et, en particulier, les expériences de l'impérialisme et du colonialisme ont affecté les trois pays de manière fondamentale. Alvares proposait un nouveau modèle du développement technologique basé sur l'intégration des traditions scientifiques autochtones et les « technologies appropriées ». « Le renversement du monopole de l'Occident sur le processus de production sera accompagné par le renversement de sa position de monopole en tant qu'arbitre de ce qui est bon pour les pays du Sud dans le domaine de la culture, des idées et des idéaux. La diffusion de la capacité à produire des biens sera accompagnée de la diffusion de la capacité à produire des idées » (Alvares 1980 p221).

La science apparaît donc comme un élément catalyseur de revendications pour les traditions locales et la contestation des valeurs coloniales. Par ailleurs, elle se trouve souvent associée au débat écologique, de critique de l'industrialisation et de la technocratie. Il faut distinguer, comme le rappelle l'historien Krishna V.V, que la contestation était divisée – et l'est encore de nos jours- en deux sortes de mouvements : ceux dits de « popularisation de la science » (PSM : Peoples Science Movement) et ceux d'alternative à la science (ASM : Alternative Science Movement). L'un et l'autre ont développé de fortes critiques des appareils techno-scientifiques du pays. Mais leurs inspirations philosophique et idéologique sont radicalement opposées » (Krishna 1996 p286). Les mouvements de popularisation cherchent à déployer la science au sein de toutes les strates sociales, afin que le peuple puisse s'en emparer. Ils entendent construire une stratégie contre-hégémonique. Les mouvements « alternatifs » envisagent pour leur part de contrarier l'hégémonie en développant des solutions alternatives, telles que les sciences locales, indigènes, traditionnelles. Alvares et Nandy en sont parmi les plus célèbres représentants. C'est un facteur propre à l'Inde : que des intellectuels et divers groupes, réunis comme mouvement d'alternative à la science, se soient mis à critiquer l'universalité de l'épistémologie scientifique occidentale moderne et la vision du monde qu'elle diffuse. Leurs voix et leur littérature se mêlent pour dénoncer les prétentions hégémoniques de la science

occidentale, et la violence qui lui est inhérente. Elles leur opposent l'approche des savoirs indigènes et locaux traditionnels. Elles combattent « les prétentions de la science moderne à l'universalité, à l'objectivité, à la neutralité et à la qualité de source unique et ultime des lumières et du savoir légitime » ou caractérisent la science moderne comme essentiellement réductrice et violente (Krishna 1996 p287)

Les *people's science movements* ont été particulièrement actifs dans les régions communistes du Sud de l'Inde, en commençant par la création de la *Kerala Śāstra Sahitya Parishad* (KSSP) en 1962. Ces mouvements s'intéressent au lien entre science et traditions populaires et apportent une expertise scientifique à des manifestations contre les projets forestiers ou d'irrigation. Ils ne sont pas axés sur la critique de la science occidentale, mais plutôt sur la façon dont la science occidentale a divisé la société indienne (Quet 2012). Ils cherchent à développer une "science de la révolution sociale», selon le slogan principal du KSSP. Dans d'autres régions de l'Inde, les mouvements environnementaux pour les forêts et les terres indigènes se rapprochent davantage de la contestation « alternative ». Comme l'a exprimé une de leurs représentantes les plus célèbres, la physicienne devenue activiste verte, Vandana Shiva (photo figure 6), « le maldéveloppement est intellectuellement basé sur, et justifié par les catégories réductrices de la pensée et de l'action scientifique. Politiquement et économiquement, chaque projet qui a fragmenté la nature et délogé les femmes du travail productif a été légitimé comme scientifique par des concepts réductionnistes et opérationnels destinés à réaliser l'uniformité, la centralisation et le contrôle » (Shiva 1988 p14). Shiva a été récompensée en 1993 du prix Right Livelihood. Elle explique son attitude envers la science : « Le premier problème qui me contrainait fut la scission très étrange entre une Inde très engagée dans le développement scientifique (nous étions la troisième plus grande main-d'œuvre scientifique dans le monde à l'époque) et en même temps aux prises avec une pauvreté incroyable. L'équation linéaire qui dit que la science moderne est synonyme de progrès et de la réduction de la pauvreté ne s'appliquait pas à l'Inde, pourquoi ? Cela ne fonctionnait pas. Quelque chose n'allait pas. Ainsi, comprendre le contexte social de la science et de la technologie a commencé à devenir un de mes impératifs » (Shiva, *in* London 1997). Malgré une formation de scientifique, elle reconnaît que sa formation en science est en fait très critique de la science mécaniste. « Si vous voyez le bétail comme source de fumure organique, d'énergie animale ainsi que de produits laitiers, alors les bovins indiens ne sont pas inférieurs. Ce n'est que lorsque vous les concevez comme des machines à lait qu'ils deviennent inférieurs. Si nous évaluons les vaches laitières d'Amérique

ou des Alpes suisses en termes de capacité de travail, elles seraient terriblement inférieures. Donc la monoculture unidimensionnelle de la pensée a créé une monoculture de l'esprit. » (Shiva, *in* London, 2005). Pour elle, l'étape suivante est de faire en sorte que les gens reprennent confiance dans leurs propres connaissances et que la biodiversité des connaissances soit conservée. Elle suit les pas de Gandhi, qui d'après elle, n'a pas simplement dit « non » au textile importé, mais a mis tout le monde en capacité de filer. Son combat principal aujourd'hui concerne le brevetage du vivant et la diversité des semences. Plusieurs scientifiques comme elle ont uni leurs forces avec les mouvements environnementaux en Inde et ont, à la fin des années 1980, développé une gamme d'institutions de recherche et d'organisations alternatives. En collaboration avec les groupes de technologies appropriées qui sont encore disséminés dans la campagne indienne, les mouvements environnementaux représentent une critique pratique de la science occidentale en Inde.



Figure 6 : Vandana Shiva au « Salone internazionale del gusto » - Terra Madre 2012, Torino - Italy. Extrait de https://it.wikipedia.org/wiki/Terra_Madre avril 2015.

Ces critiques de la science occidentale ne vont pas jusqu'à dire que celle-ci a besoin d'être entièrement revisitée. Très peu de points de vue critiques rejettent l'ambition générale de la science moderne de fournir une connaissance vérifiable et universelle. Il s'agit plutôt des utilisations qu'il en est fait et les contextes institutionnels dans lesquels elle est organisée.

Il existe donc un champ vaste et diversifié d'acteurs dont l'enjeu spécifique est de mobiliser hommes et ressources pour contrer les forces qui sous-tendent l'hégémonie des systèmes scientifiques et techniques modernes. Il implique des groupes et des associations de scientifiques, d'ingénieurs, de chercheurs en sciences sociales, des meneurs d'opinions, des

intellectuels organiques et de simples citoyens soucieux du rapport de la science à la société, comme des façons différentes de penser le savoir, sa création et ses usages. Plus de 70 % des militants de ces mouvements (et la plupart des permanents) possèdent un diplôme en sciences ou en sciences sociales. Tous ces courants ont rallié nombre d'ingénieurs et de scientifiques en exercice au cours de la décennie écoulée : on peut en déduire que la reproduction du système social de la science n'est pas sans contradiction et qu'elle secrète au sein de ses propres élites et de ses institutions les bases mêmes d'une contre-hégémonie (Krishna 1996 p295)

Il faut bien distinguer les différentes motivations au sein de champ vaste d'alternative à la science.

- Ceux qui soutiennent que la science moderne n'est pas si étrangère aux traditions rationnelles en Inde. Les mouvements de popularisation ont ainsi connu de réels succès dans les domaines de l'éducation, de l'alphabétisation, de l'auto-centrage technologique et de la défense de l'environnement. Ils disposent de groupes de diffusion de la science destinés à abaisser les barrières dressées entre les savants et le peuple.
- Ceux qui tiennent pour supérieurs les savoirs et pratiques indigènes. Ils les posent en alternative culturellement efficace aux entreprises des systèmes scientifiques et techniques modernes. Ils aspirent à une science plus humaine, plus féministe, et moins réductionniste, une science qui émerge à partir des traditions des cultures non modernes.

En dehors des mouvements indiens de popularisation ou d'alternative de la science, il existe un autre pan de contre-hégémonie. Il s'agit de la revitalisation des sciences védique qui ne porte pas sur la façon dont le domaine techno- scientifique est socialement organisé, mais sur le contenu même de cette science, et des valeurs métaphysiques et épistémologiques qu'elle porte. C'est peut-être ce qui fait qu'elle trouve un écho en Occident, davantage que n'en ont trouvé sur les mouvements alternatifs basés sur la revitalisation des systèmes indigènes de connaissances, profondément enracinés dans les contextes locaux. Avec ce type de démarches, ce sont les valeurs et le sens même de la science qui sont questionnés.

Nous observons donc que la science et ses valeurs, notamment épistémologiques, sont un des enjeux forts du développement des sciences en Inde. En nous intéressant aux *themata* actuels des physiciens, nous nous confrontons à ces valeurs et à ces enjeux.

II.E. CONCLUSION DE CE CHAPITRE

Nous avons montré dans ce chapitre que les cultures savantes anciennes ou plus récentes de l'Inde et de la France véhiculent certaines conceptions du réel qui mettent en œuvre des *themata* préférentiels.

Ainsi, la culture savante indienne accorde-t-elle une place importante au sujet connaissant. Elle y est également pensée en relation, et de manière très contextuelle. Elle témoigne d'une conception très ordonnée et causale des phénomènes naturels. Nous y trouvons donc des formes thématiques préférentielles comme la subjectivité, la causalité ou la subjectivité. Nous pourrions ainsi nous demander si ces formes sont encore celles vers lesquelles vont les préférences des physiciens indiens actuels ? La discussion autour de l'analyse de ces résultats reviendra sur cette question.

La culture savante française semble quant à elle davantage marquée par le réductionnisme, l'importance de la raison, de l'abstrait et de la pensée théorique. Nous avons moins réussi à dégager de *themata* préférentiels (déterminisme, subjectivité, etc.) si tant est qu'ils existent. L'analyse qui va suivre nous permettra finalement de dégager les éventuels caractères thématiques de cette pensée scientifique française, à travers les tendances affichées par les physiciens français actuels concernant les *themata*. Nous montrerons également les différences dans les discours des physiciens au sein d'un même groupe (différences d'arguments parmi les physiciens indiens entre eux, et parmi les physiciens français) de manière à ne pas oublier qu'ils sont différents entre eux (peut-être davantage qu'ils ne se ressemblent). Mais nous focaliserons plus spécifiquement sur les ressemblances qu'ils affichent, dans leurs *themata*, puisque c'est l'objectif de notre thèse : déceler d'éventuelles orientations thématiques plus spécifiques aux physiciens indiens, et plus spécifiques aux physiciens français. On pourrait croire que cette opposition est biaisée, mais nous verrons plus loin que pour d'autres paramètres, comme l'âge ou la discipline de recherche, les différences ne sont pas si marquantes qu'elles ne sont lorsqu'on prend l'origine culturelle comme critère. Il existe donc bien des spécificités culturelles en termes de *themata*, qui sont différentes entre physiciens indiens et français, et c'est ce que nous allons détailler maintenant.

CHAPITRE III. MÉTHODE : QUI, QUOI, COMMENT ?

Comment mettre en évidence les représentations du réel et plus particulièrement les *themata* ? Celles-ci, en tant que représentations ontologiques personnelles de la réalité ne sont pas toujours conscientes, et il est difficile pour soi-même ou pour les autres de les mettre à jour. Pour les révéler, nous nous appuyerons sur des entretiens et des écrits recueillis auprès de 72 physiciens. Le cœur de notre recherche repose sur une analyse des représentations de ces physiciens indiens et français, qui transparaît dans leurs discours (réponses aux questions posées dans les entretiens) ou leurs textes (articles, conférences, etc.). Certes, il n'est pas évident d'accéder à ce genre de représentations profondes, très abstraites, à travers des discours. Mais les outils que nous avons mis en place vont nous permettre de nous en rapprocher le plus possible. Ce sont ces outils que nous allons décrire dans ce chapitre, en commençant par notre méthodologie.

III.A. MÉTHODOLOGIE : RECUEIL DES DISCOURS ET COMPARAISON

Nous avons choisi de nous appuyer sur une comparaison entre l'Inde et la France, pour les raisons que nous avons déjà évoquées. Il existe plusieurs manières de recueillir des données permettant de faire cette comparaison. Nous allons en présenter quelques-unes afin d'expliquer pourquoi nous ne les avons pas retenues et pourquoi nous avons opté pour la méthode que nous allons expliciter finalement. Une méthode possible aurait pu consister à demeurer au sein d'un laboratoire pour observer, de manière ethnologique, les physiciens dans leurs pratiques, et regarder ce qui se joue à travers les non-dits, les mots et les actes, notamment pour étudier s'il existe des incompréhensions entre physiciens français et indiens par exemple. Mais nous n'avons pas retenu cette option, car ce sont les discours et les adhésions thématiques, quasi métaphysiques, qui nous intéressent, plus que les actes, et nous voulions déployer un panel plus large pour la comparaison. Nous prenons le discours des physiciens comme un fait à analyser, pas forcément en considérant que ce que ces derniers disent est vrai, mais pour comprendre les

représentations sous-jacentes qui les poussent à le dire. Nous ne nous intéressons pas aux relations de travail entre Indiens et Français, mais à l'imprégnation des dimensions culturelles propres aux physiciens, dans la manière de se représenter la matière et l'univers, et de choisir les interprétations des théories physiques. Et pour plonger au cœur de leurs représentations, il nous a semblé qu'il fallait sonder leurs discours et leurs écrits. Nous avons un certain nombre de points à aborder, et donc de questions à poser, souvent en lien avec la théorie quantique, pour les raisons déjà citées. Par conséquent l'observation ne pouvait suffire. Les discours en interaction, avec des relances et des questions, ont pour but de saisir leurs représentations intimes des concepts physiques et de leur portée ontologique.

Nous aurions également pu élaborer notre analyse comparative en utilisant *la grounded theory*²⁰, la théorie empiriquement ancrée (Glaser and Strauss 1967) dans laquelle les éléments à comparer apparaissent en cours d'enquête, donc sans idées a priori sur le contenu de la comparaison. Mais nous avons besoin d'avoir des réponses précises à des questions ciblées, en particulier du fait que nous voulions particulièrement cibler la théorie quantique et ses interprétations. Nous avons donc choisi d'utiliser la méthode des entretiens semi-directifs. Ce choix du semi-directif a été fait pour accéder à la pluralité intérieure de la personne et également pour s'assurer un espace de discussion suffisamment large pour vérifier le sens des mots, la portée des concepts, surtout dans le contexte de la théorie quantique, qui utilise un vocabulaire parfois complexe. Nous avons opté pour une liste des questions, utile pour comparer des gens entre eux et pour l'outil statistique, que nous utilisons également. Pour les psychologues sociaux (Jodelet and Co 2003), toute représentation est organisée autour d'un « noyau central » qui est l'élément fondamental de la représentation. À partir de là, il y a plusieurs options pour l'analyse : celle-ci peut être soit qualitative, soit quantitative, cela dépendra notamment du nombre d'entretiens élaborés.

III.B. UNE MÉTHODOLOGIE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE.

20 La *théorie ancrée* est une méthode de recherche qui, au lieu de commencer par l'hypothèse, commence par la collecte de données. À partir des données recueillies, les éléments clés sont identifiés grâce à une série de codes extraits du texte. Les différents codes sont ensuite regroupés dans des concepts similaires dans le but d'être plus faciles à utiliser. Partant de ces concepts, des catégories sont formées.

B.Glaser et A.Strauss estiment qu'il est possible d'élaborer une théorie seulement à partir de quelques monographies distinctes (Glaser et Strauss 1967) et en citent plusieurs exemples. Il s'agit dans ce cas d'une analyse qualitative. À l'inverse on peut questionner mille physiciens pour construire une analyse. Il s'agit alors d'une analyse quantitative. Un tel chiffre implique de faire un questionnaire, à distance, sans prendre le temps d'échanger et d'aller dans les profondeurs des représentations individuelles. Pour notre enquête, nous nous sommes situés entre ces deux options : le nombre idéal d'enquêté devait permettre une comparaison appuyée sur suffisamment de cas (le plus possible), et une analyse en profondeur des discours se rapportant à des sujets abstraits et complexes en philosophie des sciences. Le chiffre optimum compte tenu du temps disponible pour la thèse a été de 70 entretiens : 35 physiciens français et 35 physiciens indiens, soit une centaine d'heures d'entretiens. Nous y avons ajouté deux entretiens exploratoires soit au total 35+37 physiciens interrogés (soit 72).

Le croisement entre les deux grandes familles d'outils des sciences sociales que sont l'approche qualitative et l'approche quantitative est en fait assez courant. Des travaux ont notamment montré qu'il était non seulement possible, mais heuristique, de dépasser cette bipartition de la recherche scientifique, en réalisant par exemple une statistique ethnographique (Cayouette-Remblière 2013). Voici, dans le tableau 3, quelques spécificités liées à ces différentes approches.

| Analyse qualitative (par les cas) | Analyse quantitative (par les variables) |
|---|--|
| Qualitative, contextuelle (entretiens, archives, observation) | Statistique, quantitative (indicateurs) |
| Centrée sur relations, complexité des facteurs, des causes | Centrée sur variables en dehors de leur contexte |
| Petit nombre de cas | Grand nombre de cas |
| Singularité, complexité | Niveau d'abstraction et de généralisation |
| But : tester la pertinence d'une théorie, la nuancer, chercher des contre-exemples | But : confirmer une théorie, synthétiser |
| Enjeu : exemplarité du cas | Enjeu : représentativité de l'échantillon |
| Compréhension des processus | Recherche des déterminants, des pratiques |
| Induction, déduction, grounded theory | Démarche hypothético-déductive |
| Catégories élaborées pendant l'enquête | Catégories élaborées après l'enquête |

Tableau 3: Analyse des données recueillies, par les cas ou par les variables. Adapté de *Techniques de sondage* (Ardilly, 1994 p205 et 211).

Nous nous situons à la croisée des démarches présentées dans le tableau 3. Notre analyse est à la fois qualitative (analyse détaillée des discours et des textes produits par les physiciens), chaque physicien devenant un cas d'étude, et quantitative (comparaison statistique des réponses des physiciens indiens et français). Les catégories (pour nous, les *themata*) ont été élaborées avant, pendant et après l'enquête.

Voici, dans le tableau figure 7 trois différentes manières d'utiliser les méthodes qualitatives :

| | Posture illustrative | Posture restitutive | Posture analytique |
|---|--|---|---|
| Méthodologie | Méthode quantitative comme source principale Méthode qualitative comme illustration | Méthode qualitative comme source principale | Méthode qualitative et quantitative |
| Epistémologie : conception de la sociologie | Positivisme (modèle des sciences dures) Proche de Durkheim | Ethnométhodologie Proche de Garfinkel Le sociologue doit rendre compte de ce que pense les acteurs | Sociologie compréhensive Proche de Weber |
| Conception des enquêtes | Agent déterminé socialement | Acteur totalement rationnel | Acteur à la rationalité limitée |

Figure 7 : Présentation des trois postures dans les méthodes qualitatives.

Explications : Dans la posture restitutive, le chercheur n'est là que pour mettre en relief la parole des gens, qu'on considère avoir pris suffisamment de recul sur leurs comportements et leurs représentations. À l'inverse la posture illustrative n'utilisera le langage des gens que comme une illustration d'un propos plus général, plus conceptualisé, plus scientifique (tel que l'a fait Bourdieu, par exemple). Dans la posture analytique, le langage contribue à construire le monde, il ne fait pas que le représenter. Le sociologue s'intéresse à comment le langage sur le monde est construit (Demazière and Dubar 1997).

Notre méthodologie se situe du côté de la posture analytique (décrite dans le tableau figure 7) : c'est-à-dire une posture qui joint méthode qualitative ET quantitative, avec un acteur à la rationalité limitée, pas totalement déterminé socialement pas totalement rationnel non plus ! Nous sommes proches du champ de la sociologie compréhensive qui s'intéresse particulièrement au sens que les gens donnent à leurs pratiques et représentations : elle ne questionne pas seulement ce qu'ils font ou disent, mais aussi le pourquoi de ce qu'ils font ou disent. Comme l'explique E.Morin, aucun sociologue sérieux ne s'enferme ni dans l'individualisme qui pense la société comme un agrégat d'individus, ni n'assume une approche durkheimienne dans le sens de l'holisme, et d'individus qui seraient simplement les produits de la structure ou de la société globale (Morin 2007). Dans la profondeur d'individus singuliers se

trouve de l'universel. Il s'agit de construire une approche dialogique entre le singulier et le global.

A. Przeworski et H. Teune (1970) estiment qu'en sciences sociales, on retrouve ces deux orientations sous la forme d'une distinction souvent établie entre les études de cas qui privilégient l'approfondissement des connaissances sur l'objet de recherche et l'analyse comparative plus globale, mais moins précise (« on connaît moins sur plus »). L'équilibre à trouver entre généralité et spécificité dépend de l'objectif poursuivi, ainsi que du protocole d'enquête. Dans cette recherche, nous avons choisi d'avoir « un sac à dos rempli d'objets construits comme comparables » (Vigour 2005 p142), afin de pouvoir développer une analyse des *themata*, et une comparaison. Nous empruntons aux méthodes de la sociologie et de l'anthropologie, donc de la socio-anthropologie. Le terme le plus approprié serait l'anthropo-socio-philosophie des sciences ! L'historien et philosophe I. Hacking estime d'ailleurs que l'on pourrait rattacher l'étude des styles en science à l'anthropologie philosophique (2003 p547). Les travaux comme le notre, issus de la rencontre entre plusieurs disciplines, ont en commun de mobiliser des méthodologies plurielles. Tous s'essaient à des combinaisons, des associations d'outils et de protocoles de recherche issus de démarches épistémologiques différentes. Les chercheurs doivent souvent « bricoler » ce qui, comme le souligne Lemercier et Ollivier, peut se révéler source d'innovations (Lemercier, Claire et Ollivier 2011).

III.C. L'ENQUÊTE : QUI ? COMMENT ?

Comment avons-nous sélectionné les chercheurs que nous avons interrogés (le public d'enquête) ? Comment avons-nous choisi de construire le questionnaire ? Et sur quels aspects a été faite l'analyse ?

Nous avons sélectionné des individus qui ont effectué leur master de physique en France ou en Inde, c'est ainsi que nous définissons « physicien français » ou « physicien indien ». Tous ceux que nous avons interrogés ne sont pas tous chercheurs en poste, car nous comptons certains étudiants en master et en doctorat. À ce stade, ils sont déjà dans une démarche de recherche, donc déjà chercheurs même s'ils n'ont pas encore un statut pérenne. Certains aussi ne sont plus chercheurs en physique, mais en philosophie de la physique (après avoir été chercheurs en physique). En ce qui concerne le qualificatif de « physicien », nous l'avons attribué à des chercheurs relevant des différentes disciplines de la physique et nous avons en particulier choisi de sélectionner des disciplines nécessitant un minimum de connaissance de la théorie quantique. Cette théorie est enseignée dans le cursus d'enseignement menant aux masters de physique,

donc, tous les étudiants y ont été initiés, mais certaines disciplines l'utilisent plus que d'autres, comme la physique des particules par exemple, la physique atomique, ou la physique des états condensés. Certains physiciens ont davantage approfondi, personnellement ou professionnellement l'étude de la théorie quantique et de son interprétation. Il y a donc une inégalité face à la connaissance de ce sujet, et c'est un des biais de notre enquête. Nous avons essayé de le répartir le plus similairement entre Français et Indiens.

III.D. SÉLECTION DES PHYSICIENS : L' « ÉCHANTILLON »

La population cible de notre étude est l'ensemble des individus d'origine indienne ou française ayant fait un master de physique dans ces pays, et ayant donc un minimum de connaissance de la théorie quantique. Au sein de cette population, nous avons sélectionné un échantillon d'individus. Parler d'échantillon évoque un caractère représentatif, c'est-à-dire qui se veut le modèle réduit d'une population dans son ensemble, et qui est souvent obtenu par une méthode aléatoire. Un échantillon est représentatif selon certains critères, par exemple, selon l'âge, le genre, etc. Dans cette recherche, nous ne visons pas la représentativité parfaite. Pourquoi ? Déjà, compte tenu du faible nombre d'interviewés (35+37), la représentativité n'est pas possible. Ensuite, trop de paramètres sont concernés potentiellement par la représentativité : l'âge, le genre, la discipline, l'origine géographique, l'origine sociale, etc. Par ailleurs, nous voulons avoir des échantillons comparables entre les physiciens indiens et français en termes de discipline, de genre et d'âge, mais les répartitions ne sont pas les mêmes en Inde qu'en France ! Enfin, nous n'avons pas sélectionné les physiciens par méthode aléatoire, car nous n'avons pas suffisamment de choix ! Les physiciens indiens ont été particulièrement difficiles à contacter, restant souvent évasifs et tardant à donner leurs disponibilités. Tous les gens contactés ont été d'accord pour un entretien, hormis une physicienne qui n'a donc pas été rencontrée. Nous avons sollicité les physiciens en allant de contacts en contacts ou en les sélectionnant sur les annuaires des laboratoires. Nous avons sélectionné parmi ces contacts ceux qui permettaient d'avoir un échantillon se rapprochant le plus possible de la variété des physiciens indiens et français en termes d'âge, de genre et de disciplines. Nous avons fait en sorte que les physiciens soient suffisamment diversifiés pour éviter au maximum des biais liés à l'âge, au genre, etc. Notre sélection s'est donc faite sur des critères de diversité des disciplines (physique théorique, physique expérimentale notamment), sur la diversité des classes d'âge et de genre, et c'est ce que nous allons expliciter à présent.

LE GENRE

La proportion de femmes interrogées parmi les physiciens indiens est de 9 sur 37 et 8 sur 35 pour les physiciens français. Cela représente une proportion de 24% et 23% respectivement. Nous avons voulu nous rapprocher du quota de femmes dans la recherche dans ces pays, mais ils sont fort différents. Ainsi, en France, la part des femmes dans la recherche est de 28%, en Inde, de 12% toutes disciplines confondues (United Nations Education 2007 p94). Mais en se restreignant aux disciplines de la physique, les chiffres sont différents. En moyenne, 20% de chercheurs en physique sont des femmes en France, avec des variations selon les disciplines – notamment pour la physique théorique qui n’accueille que 10% de femmes²¹. En Inde, dans la discipline des sciences physiques, les femmes représentent 30% des étudiantes de master, 20% de doctorantes. La proportion chute au-delà du doctorat. Le nombre de femmes dans les départements de physique des universités et instituts de recherche dépasse rarement les 10%. Cette proportion est relativement constante depuis une décennie (Godbole and al. 2005 p129). Comme nous avons interrogé des chercheurs en poste, mais aussi des doctorantes et des étudiants de master, il est difficile d’avoir une proportion représentative de l’ensemble des physiciennes. Nous avons donc opté pour ces proportions qui nous semblent assez représentatives.

L’ÂGE

| | France CNRS | Physiciens français | Physiciens indiens |
|------------------------|-------------|---------------------|--------------------|
| Moins de 30 ans | 2,60% | 29,41% | 34,29% |
| De 30 à 39 ans | 25,90% | 11,76% | 8,57% |
| De 40 à 49 ans | 34,50% | 29,41% | 25,71% |

²¹ Part des femmes parmi les maîtres de conférences et professeurs d’université, 2012, source DGRH MESR 2012-2013 : Mathématiques pures : 13,5%, Electronique, optronique et systèmes : 16,5%, Constituants élémentaires : 16,8%, Milieux dilués et optique : 18,7%, Astronomie, astrophysique : 21,5%, Milieux denses et matériaux : 25,0%. Au CNRS : Théories physiques : 10%, Mathématiques et interactions des mathématiques : 16%, Ingénierie des matériaux et des structures : 17%, Matière condensée : structures et propr. électroniques : 18%, Atomes, optique, plasmas : 20%, Micro et nanotechnologies : 20%, Système solaire et univers lointain : 21%; Interactions, particules, noyaux : 22%, Matière condensée : organisation et dynamique : 24%, Milieux fluides et réactifs : 24%, Architectures moléculaires : 26. Source : CNRS, bilan social 2012.

“In India, engineering (specifically information technology) is an extremely popular undergraduate degree, given the large number of well-paying jobs in that field. My intuition is that females in India don’t look at studying engineering as a female doing a man’s job (an opinion which many in the West argue is the case) but see it as a bread-earner pursuing a path of socio-economic success. Different identities become dominant in the context of engineering in different nations, enabling females to defeat popular stereotypes. males and females in engineering colleges are equally employable. This is good news, as both the engineering profession and the Indian woman can symbiotically progress in a country wanting for high quality engineers and IT personnel. Whereas India does much better than the U.S. in the gender ratio in engineering, the story turns upside down when we look at, say, the top 10 colleges in both countries. Whereas the Indian Institute of Technology have a male-female ratio as high as 14:1, M.I.T. has it around 1.4!”(Aggarwal 2013)

| | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| De 50 à 59 ans | 26,90% | 17,65% | 25,71% |
| plus de 60 | 10,00% | 11,76% | 8,57% |

Tableau 4 : Proportion de physiciens dans chaque tranche d'âge respectivement au CNRS (source : bilans sociaux CNRS 1999 à 2013), dans le groupe de physiciens français, et dans le groupe de physiciens indiens interrogés.

Ce qui nous a préoccupés concernant l'âge était surtout d'avoir une bonne représentativité de chaque tranche d'âge et une moyenne similaire pour nos deux échantillons : elle est de 44 ans pour la France, 43 ans pour l'Inde. Nous voyons dans le tableau 4 que, concernant les moins de 30 ans, ils n'ont généralement pas encore de poste au CNRS à cet âge, ce qui explique qu'ils ne fassent pas partie du décompte CNRS, mais ils n'en sont pas moins importants dans la représentativité des physiciens. Comme nous avons interrogé un certain nombre de doctorants, d'étudiants de master et de post-doctorat, cela explique nos différences de chiffre. À la lecture de ces chiffres, on peut se demander : où sont les 30-39 ans dans nos échantillons ? Nous avons eu du mal à en trouver. Peut-être est-ce une tranche d'âge souvent expatriée, aux États-Unis notamment, où il semble plus facile de trouver un poste à cet âge.

LES DISCIPLINES

Les sections disciplinaires ne sont pas les mêmes en Inde qu'en France, ce qui déjà rend difficile la correspondance entre les deux échantillons. Nous n'avons pas trouvé d'analogues aux CNU françaises. Nous avons donc cherché à regrouper ces sections en grandes catégories. Nous avons mis, à la figure 8, les différentes sections se rapportant à la physique au CNRS (pour lesquelles nous avons les données du nombre de chercheurs par section) :

Sections (Mandat 2008-2012)

Théories physiques : méthodes, modèles et applications

Interactions, particules, noyaux du laboratoire au cosmos

Atomes et molécules - Optique et lasers - Plasmas chauds

Matière condensée : organisation et dynamique

Matière condensée : structures et propriétés électroniques

Micro et nanotechnologies, électronique, photonique, électromagnétisme, énergie électrique

Ingénierie des matériaux et des structures - Mécanique des solides - Acoustique

Milieux fluides et réactifs : transports, transferts, procédés de transformation

Système solaire et univers lointain

Figure 8: Les différentes disciplines de la physique. Source : CNRS 2011

Nous les avons regroupées dans les grandes sous-disciplines utilisées par les Indiens à savoir :

| |
|---|
| Theoretical Physics |
| Condensed Matter Physics & Materials Science |
| Astronomy & Astrophysics |
| High Energy Physics |
| Nuclear Physics |

Il ne nous a pas été possible de trouver de statistiques proposant une répartition du nombre de chercheurs en Inde par sous-discipline de la physique. La répartition la plus précise que nous ayons trouvée est « space science », « material science » et « physics » (Department of Science and Technology Government of India 2012). Nous avons donc préféré nous appuyer sur la répartition par départements proposés par des Instituts de recherche en Inde²². Ceci nous fournit une indication de la répartition des chercheurs par discipline que nous déployons dans le tableau 5.

| Pourcentage de chercheurs par sous-disciplines | En France (CNRS) | Physiciens français | En Inde (TIFR) | Physiciens indiens |
|---|-------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Theoretical Physics | 14% | 28% | 23% | 24% |
| Condensed Matter Physics & Materials Science | 27% | 25% | 19% | 24% |
| Astronomy & Astrophysics | 15% | 16% | 20% | 18% |
| High Energy Physics | 23% | 19% | 15% | 26% |
| Nuclear Physics | 11% | 9% | 15% | 6% |

Tableau 5 : Pourcentage de chercheurs par sous-disciplines dans nos groupes de physiciens et au TIFR et au CNRS.

La physique théorique tient une place plus importante dans nos données indiennes que françaises (cf. tableau 5). Cela s'explique par l'importance de cette discipline en Inde, pour des raisons historiques et économiques, que nous expliquons par ailleurs (Annexe 15). Il faut cependant savoir que de purs théoriciens travaillent aussi dans les autres départements que celui de physique théorique, surtout en Inde. Par contre, il nous a été impossible d'estimer la

²² Par exemple, le TIFR, l'institut de recherche de Bombay dans lequel nous avons effectué une grande partie des entretiens avec les physiciens indiens, divise ses départements en «natural science, Biological Science, Chemical Sciences, Astronomy & Astrophysics, Condensed Matter Physics & Materials Science, High Energy Physics, Theoretical Physics, Nuclear and Atomic physics ». Pour l'Inde, nous avons pris le pourcentage de chercheurs du TIFR dans ces différents domaines, faute de mieux.

¹⁹ chercheurs en poste en 2014 pour le département Condensed Matter Physics & Materials Science

²⁰ chercheurs en poste permanent en 2014 dans le département Astronomy and astrophysics

²³ chercheurs en poste en 2014 dans le département de Theoretical Physics

15 dans le département de High energy physics

15 en Nuclear physics

proportion de théoriciens globalement à la fois en France et en Inde. Nous sommes donc partis sur une proportion entre théoriciens et expérimentateurs que nous décrivons dans le tableau 6 :

| Pourcentage d'expérimentateurs et de théoriciens (en % arrondis) | Physiciens français | Physiciens indiens |
|--|---------------------|--------------------|
| Théoriciens | 40% | 46% |
| Expérimentateurs | 37% | 32% |
| Phénoménologistes²³ ou les deux (en astrophysique par exemple) ou étudiants encore non spécialisés | 23% | 22% |

Tableau 6: Pourcentage d'expérimentateurs et de théoriciens dans nos deux groupes de physiciens. Comme pour tous les tableaux, les pourcentages sont arrondis à l'unité près.

La plus grande proportion de théoriciens reflète la plus grande part des théoriciens en Inde que d'expérimentateurs sur l'ensemble de la population des physiciens²⁴. Il a également été justifié par le fait que les théoriciens se sont avérés en grande majorité plus informés sur les problématiques ontologiques de la théorie quantique qui est l'un des axes sur lesquels nous voulions interroger les physiciens. Il n'existe pas de chercheurs qui travaillent spécifiquement sur les aspects ontologiques de la mécanique quantique. La théorie quantique est un outil qui est assez transversal aux disciplines. Elle est utilisée surtout (mais pas que) en physique des particules (high energy physics), ou en physique de la matière condensée (condensed matter). La physique théorique l'utilise aussi, selon l'objet de recherche. Parmi les physiciens qui travaillent sur les fondements de la théorie quantique, il s'agit souvent de physiciens devenus philosophes de la physique ; ou des retraités ! Certains s'y attèlent sur leur temps libre (l'un des physiciens rencontrés dit à ce sujet : « on y travaille le soir »). Il existe aussi des physiciens et des informaticiens qui travaillent sur l'information quantique, mais il n'y en a pas dans nos échantillons, car ils sont moins concernés par les thèmes de la physique que nous avons choisis.

²³ Les phénoménologistes sont à la jonction entre physique théorique et expérimentale. Ils tissent un lien entre les modèles mathématiques de physique théorique (comme la théorie quantique des champs ou de la structure de l'espace-temps) et la physique des particules expérimentale. Les phénoménologistes, représentants d'une discipline émergente de la physique, utilisent la puissance des ordinateurs et une connaissance globale de la discipline que ne peuvent avoir les théoriciens ou les expérimentateurs spécialisés dans leur domaine de recherches.

²⁴ Nous avons analysé ce fait dans un chapitre d'un ouvrage à paraître en 2016 « Reconfigurations dans le paysage disciplinaire des sciences » sous la direction de Jonathan Simon. Il existe au TIFR un département de physique théorique qui regroupe des champs variés de la physique (matière condensée, hautes énergies, cordes, etc.). La vingtaine de physiciens du département travaillant sur des théories se réfèrent donc à différentes disciplines. C'est une situation assez classique pour un laboratoire d'accueillir un département généraliste de physique théorique. Au CERN, il existe également un groupe restreint de théoriciens qui accompagne les différents projets. Mais ce qui différencie l'Inde de pays plus industrialisés, comme la France, c'est que, dans des départements *a priori* plus expérimentaux comme la physique des hautes énergies ou la physique de la matière condensée, on trouve beaucoup de théoriciens, ou de phénoménologistes.

LE LIEU DE TRAVAIL

Les entretiens auprès des physiciens indiens ont été menés en 2013 et 2014 au CERN à Genève, ainsi qu'en Inde, à Bombay et à Poona dans différents centres de recherche, en particulier le Tata Institute of Fundamental Research (TIFR) et The Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics (IUCAA) (photo figure 10). Quelques entretiens ont été menés en France auprès de physiciens indiens en poste dans des laboratoires français.

Les entretiens avec les physiciens français ont été menés dans différents laboratoires en région Rhône-Alpes et en région parisienne, en particulier à l'Institut de physique nucléaire de Lyon (IPNL) et au Commissariat à l'énergie atomique (CEA) de Saclay.

Voici une présentation rapide des deux principaux laboratoires, indiens et français, parmi lesquels nous avons interviewé des physiciens.

Le TIFR

Fondé en 1945 par le physicien visionnaire Homi Bhabha (photo figure 9), le Tata Institute of Fundamental Research a été mis en place pour donner un coup de fouet massif à la recherche indienne au lendemain de la Seconde Guerre mondiale. Localisé à Bombay, il développe des succursales à Hyderabad. Véritable centre interdisciplinaire, le TIFR abrite des recherches allant du boson de Higgs à la science du cerveau en passant par le graphène pour les mathématiques et l'informatique. Il abrite un centre informatique (Tier2) pour l'expérience CMS au CERN, qui permet à la communauté de physiciens des particules d'analyser les données du grand collisionneur de hadrons. Très convoité, il recrute les chercheurs davantage sur leur capacité à raisonner et à innover que sur leurs connaissances. « It's not book knowledge we want, but motivation, people who are hell bent on achieving something », explique Mustansir Barma, directeur du TIFR. Ce qui y est valorisé et soutenu, c'est la curiosité. Nous l'avons remarqué sur place. Les salaires du personnel ont été traditionnellement maintenus très bas dans ce qui était censé être « une sorte de « paradis socialiste », dont le seul avantage réel était le logement gratuit et un café subventionné » est-il écrit dans le *Worldphysics special report India* (dec 2012 p12). Les choses commencent lentement à changer : les salaires au TIFR ont augmenté, la plupart des professeurs gagnent maintenant de 50 000 à 100 000 Rs par mois (1000-2000 \$). Les équipements du TIFR sont mieux financés par le gouvernement indien que la plupart des autres centres de recherche, à travers le Département de l'énergie atomique.

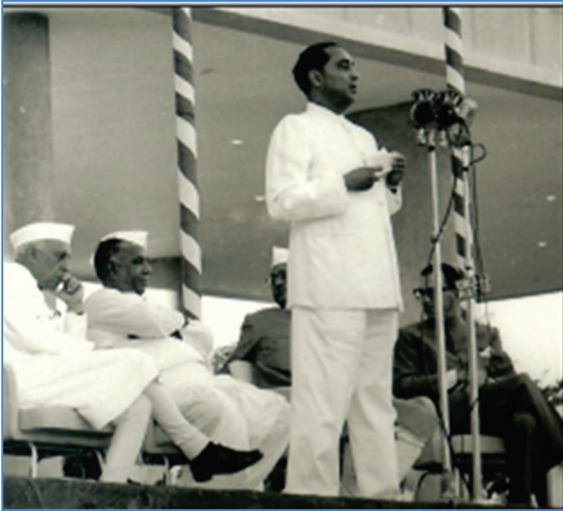


Figure 9 : Homi Bhabha inaugurant les nouveaux bâtiments du TIFR en 1962 à Bombay. Extrait de <https://culturalinstitute.com/> janvier 2016.

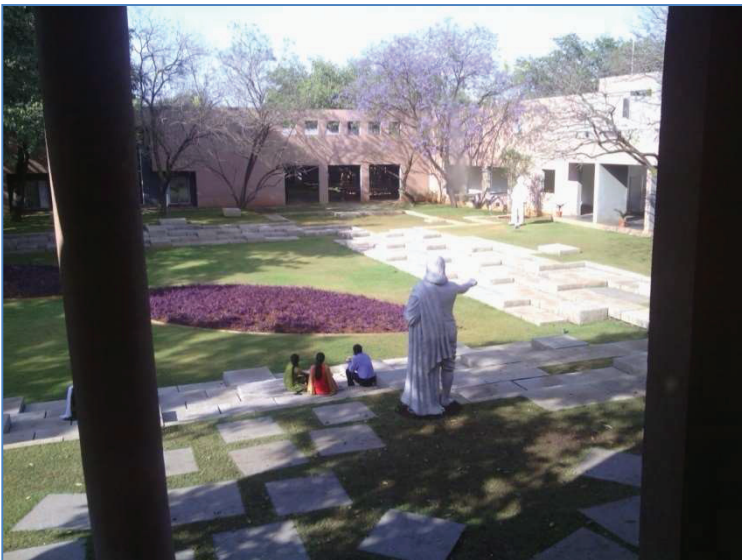


Figure 10: l'IUCAA à Poona (2013).

L'IPNL

Créé en 1963, l'Institut de physique nucléaire de Lyon (IPNL) est une unité de recherche publique (photo figure 11). Il agit sous la double tutelle de l'Université Claude Bernard de Lyon (UCBL) et de l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) du CNRS. Il est spécialisé sur la physique et en particulier autour des quarks et leptons, des astroparticules, de la matière hadronique et nucléaire. Laboratoire essentiellement de physique expérimentale, l'IPNL a développé des activités de recherche dans des domaines pluridisciplinaires touchant les sciences du vivant et l'environnement : étude du confinement des déchets radioactifs, imagerie bio-médicale, mesures radiologiques pour l'environnement.... Le groupe de physique théorique de l'Institut accompagne par ses travaux l'ensemble des

activités expérimentales du laboratoire. Son siège est situé à Villeurbanne, dans le département du Rhône. Il abrite deux masters de physique.



Figure 11: L'IPNL (2013)

Nous avons signalé plus haut, au chapitre II, que beaucoup de physiciens d'origine indienne travaillaient aux États-Unis. Ainsi, il pourrait sembler nécessaire d'interroger des physiciens d'origine indienne travaillant aux États-Unis, pour compléter nos échantillons. Cependant, cela ne me semble pas justifié pour plusieurs raisons :

- La plupart des physiciens rencontrés ont effectué des séjours de recherche à l'étranger, en particulier en Europe ou aux États-Unis. L'influence de leur séjour aux États-Unis est donc probablement encore notable. Cette influence n'est que supposée, mais ce n'est pas l'objet de cette thèse d'étudier l'influence du lieu de travail sur les physiciens. Je me suis limitée à l'influence du lieu de naissance et de formation. Cela ne veut pas dire que ce sujet n'est pas intéressant, mais il pourrait faire l'objet d'une autre recherche.
- Si l'on voulait interroger des physiciens indiens travaillant aux États-Unis, il faudrait le faire également pour d'autres pays. Et la diversité des pays possibles est telle qu'il n'y aurait plus de cohérence d'ensemble, en tous cas dans le cadre de cette thèse. Là aussi, ce sujet pourrait être étudié dans le cadre d'une autre recherche.

Qu'en est-il du fait que la plupart des physiciens indiens de cette enquête appartiennent au TIFR et les Français à l'IPNL ? Cela a-t-il une influence ? Nous ne pouvons mesurer cette influence précisément, mais nous pouvons cependant la tempérer par le fait que, comme la plupart des physiciens (pas les plus jeunes) ont travaillé dans différents lieux et organismes, avant d'être

en poste sur le lieu respectif où je les ai rencontrés. Et il est fort probable (sauf pour les plus âgés) qu'ils en changent encore durant leur carrière. Il est donc fort probable que le lieu de travail dans lequel ils sont lorsque je les interroge influence leurs réponses, mais cette influence est limitée par le fait qu'ils ont une grande mobilité.

L'ORIGINE RÉGIONALE

Initialement, nous n'envisagions pas de nous préoccuper de l'origine régionale de nos interviewés. Mais il s'est avéré que cette origine géographique est venue d'elle-même se présenter. Nous nous sommes ainsi rendu compte qu'une majorité de nos interviewés indiens étaient originaires de l'État du Bengale et plus particulièrement de sa capitale, Calcutta. Il semble que Calcutta soit la ville de la physique théorique en Inde. C'est ce que nous explique entre autres l'un des physiciens, originaire de cette ville et qui a été poussé par ses professeurs à faire de la physique théorique, car, selon lui, c'était plus « à la mode » à l'époque à Calcutta de faire de la physique théorique que les maths. « Pour les maths, dit-il, c'est à Madras qu'il faut aller. Le bengali est la langue officielle de la physique théorique, et le tamoul, celle des maths ! Beaucoup de physiciens théoriciens viennent de Calcutta aujourd'hui » raconte ce physicien. Une autre physicienne, aussi originaire de la ville explique que c'est le Bengale qui fut à l'avant-garde du tout premier mouvement nationaliste en Inde. Ce fut cet état de l'Est de l'Inde qui sonna le premier la renaissance culturelle et spirituelle indienne. « Les meilleurs poètes, les philosophes et les grands mystiques ont souvent été originaires du Bengale. Au Bengale en général, le savoir était plus important que le business, dit-elle. Beaucoup de physiciens viennent de Calcutta. C'est une ville de scientifiques renommés comme Bose, Raman, PC Ray, depuis le début du XX^e siècle. Ensuite, il faut voir que c'est une terre très fertile, avec la vallée du Gange, donc la nourriture n'est pas un problème et on peut donc se consacrer au savoir spéculatif, comme en Inde du Sud, région aussi très fertiles et où l'on trouve beaucoup de mathématiciens très doués et des étudiants en sciences informatiques, des programmeurs, etc. Lorsqu'il y a eu la partition, les communistes sont venus et ont fermé toutes les usines, comme il y avait donc moins d'argent dans les familles, les enfants ont moins fait d'études d'avocat ou de médecine, car elles étaient plus chères, et donc se sont tournés plutôt vers les sciences. Cela aurait pu être les maths, mais la tradition de physiciens depuis Bose et

Raman a fait de la physique physique une discipline plus valorisée. Et peut-être que dans le Sud, où il y a les mathématiciens, les gens sont plus intelligents »²⁵ se demande-t-elle.

Cette physicienne propose une explication à ces spécificités régionales. Pour notre part, nous pensons que la spécificité de Calcutta pour la physique théorique vient en partie du fait que Calcutta fut pendant longtemps la capitale de l'Inde britannique et la capitale intellectuelle, et abrite de ce fait des prestigieux lycées et universités.

Le Kerala est également un Etat réputé intellectuel. L'un de nos physiciens qui vient de cette région explique que « Traditionally when we are growing, one important thing in middle class families is to be well educated ». Au Kerala, le savoir est considéré comme une chose importante, donc, pour les middle class s'éduquer est normal, tout le monde y a une bonne éducation, dit-il. Ses parents et grands-parents, ses oncles étaient enseignants. « There were also a lot of interest of studing topics in the religion. And also, I come from a place in Kerala where was Shankara ». Ce philosophe (VIII^e siècle) est né dans cette région (VIII^e siècle) et y reste un personnage important. Il est mort jeune, et à 18 ans il avait déjà produit un savoir important, donc, explique notre physicien, c'est impressionnant pour les jeunes qui sont très incités à faire de même. « So I was attracted towards topics which have a strong part of philosophy. For Shankara philosophy, observation, facts are very important. By our generations, that aspects have changed a lot.. There where lot of people who wanted to do standard profession like doctors. There is lot of influence of the communism movmment in Kerala. I red a lot of book on Soviet Union. It was natural to have an interest in science. Commmunism always helped in developping an attitude de question things”.

Nous n'avons pas remarqué quoi que ce soit de similaire concernant les Français, aucune région de ce pays ne s'est montrée particulièrement nourricière en physiciens. La comparaison avec la France n'est d'ailleurs pas pertinente étant donné la différence de superficie entre les deux pays. Ainsi, les différences qui peuvent exister entre différentes régions en Inde sont plus importantes qu'en France.

Dans l'État du Kerala, la quasi-totalité des enfants sont scolarisés en école primaire, alors que dans l'État du Bihar, seul un enfant sur deux est scolarisé ... Ces disparités s'expliquent notamment par le caractère plus urbain ou rural des régions. Les enfants pauvres originaires de milieux ruraux ont moins de chance de pouvoir aller à l'école.

²⁵ Traduction de certains passages de son entretien.

LE MILIEU SOCIAL ET FAMILIAL

La sélection pour devenir chercheur en Inde est plus difficile qu'en France, un enfant indien a statistiquement moins de chance de devenir physicien. La classe sociale n'est pas un paramètre neutre dans nos échantillons, c'est le cas dans les deux groupes, mais peut-être plus encore en Inde. Bien plus que pour les Français, l'origine sociale des parents intervient. Les chercheurs sont majoritairement issus de familles de castes supérieures ou d'intellectuels (qui sont souvent les mêmes) : professions d'enseignants ou de médecins, comme W.M dont le père était professeur de mathématiques à l'université, ou K.M dont le père était professeur d'anglais, sa mère de mathématiques, ses grands-parents, médecins et avocats. On y trouve aussi des parents universitaires, enseignants – souvent de mathématiques, de sanskrit ou de littérature. Les chercheurs qui viennent d'univers artisans ou ouvriers sont très rares. Cela est beaucoup moins le cas pour les physiciens français, qui ont pu devenir scientifiques, parce qu'ils étaient bons en mathématiques par exemple, mais parfois sans motivation forte. On trouve, parmi le profil de chercheurs français interrogés bien plus souvent des environnements familiaux étrangers à la recherche scientifique ou aux domaines intellectuels, comme par exemple J.J, seul de famille à avoir le bac, ou W.W, dont la famille s'est arrêtée au niveau du brevet.

Cela peut s'expliquer par le fait, qu'en Inde, plus qu'en France, ce qui compte c'est l'argent et la reconnaissance sociale pour le choix d'un métier. Il faut donc être vraiment passionné si l'on veut devenir chercheur, car ce n'est pas un statut socialement valorisé. Le statut d'ingénieur recueille plus de reconnaissance sociale que celui de chercheur, donc un élève doué aura plutôt tendance à choisir ingénieur que chercheur, à part pour les milieux intellectuels ou savants, qui développent une plus grande reconnaissance pour ce genre de professions. Cela explique que l'on trouve plus de physiciens dont la famille est scientifique ou intellectuelle. D'après U.J, qui est d'origine brahmane, il y a, parmi les brahmanes, une tradition de scolarité : le savoir, la réflexion, a de la valeur pour eux. Donc, ceux qui font de la recherche sont soit issus de ces milieux, soit vraiment passionnés, ou les deux.

Les motivations pour faire de la recherche sont sensiblement les mêmes entre Indiens et Français : pour comprendre l'univers. Un peu plus de physiciens français sont devenus chercheurs pour d'autres raisons comme le fait d'être bon en cours (tableau 7). Le parcours scolaire en France semble davantage orienter les bons élèves vers la recherche que ce n'est le cas en Inde.

| Pourquoi scientifique ? | Physiciens français | Physiciens indiens |
|-------------------------|---------------------|--------------------|
| Comprendre | 50% | 67% |
| Passion | 9% | 7% |
| Bon en cours | 19% | 4% |
| Autre (progrès) | 22% | 22% |

Tableau 7 : Répartition des physiciens rencontrés selon leur choix de devenir scientifique.

Explication du tableau : Les « bons en cours » sont ceux qui sont arrivés à cette profession par hasard ou par défaut, car ils n’avaient pas d’idée de ce qu’ils voulaient faire.

On peut observer dans le tableau 8 les différents univers familiaux des chercheurs interrogés, et se rendre compte que, parmi les physiciens indiens, ils sont bien plus nombreux à venir de milieux familiaux intellectuels ou scientifiques que les Français.

| Famille de milieu social intellectuel ? | physiciens français | physiciens indiens |
|---|---------------------|--------------------|
| non | 77% | 43% |
| oui | 23% | 57% |

Tableau 8: Répartition des univers familiaux des physiciens interrogés.

Explication : Ce que nous entendons par « milieu social intellectuel » qualifie la profession des parents ou grands-parents. Quand c’est « oui », cela signifie que l’entourage familial est constitué de professions nécessitant des études supérieures comme médecin, avocat, professeur.

On trouve bien sûr, parmi les physiciens français des enfants d’ingénieurs ou de chercheurs, comme L.I, dont le père était médecin à Saclay, et avait des amis chercheurs au CEA ou au CNRS. Et on trouve aussi, parmi les physiciens indiens, des gens issus de milieux peu intellectuels, tel que C.H. qui vient d’un petit village, mais qui a pu bénéficier d’un bon système public d’enseignement. Mais ils font exception.

Les *dalits* (castes des intouchables) sont souvent mis en marge du système éducatif. Malgré les efforts déployés pour réduire les discriminations basées sur les castes, les taux de scolarisation des enfants *dalits* restent très faibles (Lambotte-Saligari 2010).

Nous ne prenons pas ces observations sur les différences de statut social des physiciens indiens et français rencontrés, comme une généralité. Cela nécessiterait une étude spécifique. Cependant, nous devons avoir conscience de cette différence observée lors de l’analyse de nos résultats. Car l’origine sociale, plus intellectuelle, des Indiens, peut influencer leurs choix de *themata*.

Nous n'avons pas détaillé, pour chaque physicien, le parcours de formation professionnelle. Car ils sont trop divers et trop complexes pour dégager des traits communs aux physiciens qui puissent être analysés.

Un point peut cependant être souligné: au vu des échanges que j'ai pu avoir avec les physiciens, il apparaît que les manuels d'enseignements de la physique quantique sont communs aux Français et aux Indiens. En particulier, la majorité des physiciens se sont formés aux ouvrages de Claude Cohen-Tannoudji et de Richard Feynman, qu'ils soient indiens ou français.

Par ailleurs, on trouvera en annexe 10 une présentation des points de vue des physiciens rencontrés sur les problèmes vécus (au niveau social, économique et professionnel) de la recherche en Inde et en France.

EST-CE LA MÊME CHOSE DE DISCUTER DE PHYSIQUE EN FRANÇAIS AVEC DES FRANÇAIS ET EN ANGLAIS AVEC DES INDIENS ?

Comme dit en introduction, nous avons été confrontés au problème de la langue. Nous avons échangé en anglais avec les physiciens indiens, sauf pour les quelques rares à parler français (qui travaillent en France). Dans tous les cas, il ne s'agit pas de leur langue maternelle. Même si nous avons bien parlé hindi, cela n'aurait pas permis de discuter dans leur langue maternelle, car comme nous l'avons déjà signalé, il existe beaucoup de langues officielles en Inde, en dehors de l'hindi, et peu de nos physiciens ont l'hindi comme langue maternelle.

Malgré tout, il ne nous semble pas que cet usage de langues différentes pour les entretiens pose de problèmes notables. Le langage des sciences est relativement commun au niveau international. C'est le cas plus certainement dans les « natural sciences » (les sciences dites « dures ») dont la physique fait partie. Les mots « électron » « string theory » « gravity » ont des traductions qui renvoient aux mêmes termes scientifiques : « électron », « théorie des cordes », « gravité ». C'est moins le cas avec des termes à la fois philosophiques et scientifiques, qui n'ont pas la même signification dans toutes les langues : espace, matière, temps... Notons que ces termes n'ont pas le même sens non plus en fonction des individus. Ce qui fait que le meilleur moyen de dépasser ce problème de langage est d'explicitier ce que nous entendons par ces mots. Ce que nous avons fait au maximum dans les entretiens, où nous avons défini les termes auprès des physiciens. Pour limiter l'impact de ces différences de langage, nous avons au maximum utilisé des mots du langage scientifiques et nous avons utilisé plusieurs questions se référant à un même concept ou un même *thema*. Par ailleurs, nous avons procédé à des entretiens préliminaires pour clarifier les concepts et leur juste traduction. Comme

l'explique Vigour, « le comparatiste doit se satisfaire d'une traduction qui ne constitue jamais un équivalent parfait, mais qui, soit perd une partie de l'information, soit au contraire ajoute une connotation particulière » (Vigour 2005 p141).

La mise en opposition des concepts comme nous la présentons avec les *themata* (déterministe/indéterministe, contextuel/universel, etc.) permet d'établir plus clairement des différences et évite le risque « d'élasticité conceptuelle », c'est-à-dire la trop grande souplesse d'une définition qui rend la classification impossible (Vigour 2005 p142). Notre manière de comprendre les concepts est aussi différente des physiciens. Elle nécessite tout autant une clarification. Comme l'exprime J-R. Ladmiral, nous pourrions dire que notre manière de signifier le monde n'est pas la même que celle des personnes que nous avons rencontrées, cependant, elle n'est pas non plus tout à fait autre (Ladmiral 1994). En effet, l'usage de certains termes, comme par exemple «déterminisme», «symétrie» ou «matière», sur lesquels nous reviendrons ultérieurement, va différer dans la réappropriation que nous nous en ferons afin de les interpréter. Dès lors, il ne nous semble pas que la traduction implique de la perte d'information, mais elle suppose une transformation de cette information par une explicitation.

III.E. AVERTISSEMENTS

CONCERNANT L'ÉQUILIBRE SUR L'ÉTUDE FRANCE/INDE

Comme dit en introduction, la France ne sera pas traitée ici au même niveau que l'Inde en termes de références historiques. Nous avons voulu cibler notre recherche davantage sur l'Inde, car c'est son statut de pays émergeant qui nous intéresse particulièrement, et le lien entre son passé savant et le développement de la science actuelle.

CONCERNANT L'USAGE DES CHIFFRES, DES STATISTIQUES ET DES POURCENTAGES

Nous avons conscience que la taille de nos groupes ne permet de dégager des analyses significatives en termes de pourcentage. Nous avons cependant utilisé des statistiques dans l'objectif de révéler des tendances dans la comparaison. Nous voulons insister sur le fait qu'il s'agit de tendances. C'est dans l'analyse des discours, qualitative, que nous pouvons confirmer la valeur de ces tendances, et surtout ce sur quoi elles sont fondées, sur quels aspects, quelles postures et quels arguments. Nous n'avons pas voulu surcharger l'analyse en insérant toute la diversité des arguments et des discours, nous en avons donc mis une partie en annexe.

Dans les tableaux statistiques, nous avons choisi d'exprimer la répartition des réponses en utilisant les pourcentages. En effet, le nombre de réponses traitées pour élaborer le pourcentage n'est pas toujours de 37 pour les Indiens et 35 pour les Français, car parfois, certains n'ont pas répondu à toutes les questions, pour des raisons variées (ne peut se prononcer, question non posée, mal comprise, entretien préliminaire, etc.) **Tous les pourcentages exprimés sont arrondis à l'unité la plus proche, pour éviter les chiffres après la virgule.**

CONVENTIONS DE RETRANSCRIPTION

Nous avons cité les discours de certains physiciens pour illustrer notre propos. Nous avons **traduit de l'anglais** certains passages plus difficiles à comprendre en français en note de bas de page.

Nous avons **conservé l'anonymat** à la demande de plusieurs physiciens, et nous l'avons étendu à tous les physiciens pour ne pas faire de différenciation. Nous avons donc modifié les initiales des physiciens.

Nous mettons deux entretiens en annexe 2, ainsi que les tableaux statistiques en annexe 1 .

Tous les entretiens audio sont consultables sur demande.

PASSAGE DU CONTENU DES ENTRETIENS AU DISCOURS SCIENTIFIQUE.

Nous nous appuyons à la fois sur la comparaison statistique des réponses et sur la forme et le contenu des discours (oraux ou écrits (articles, ouvrages)), pour passer des discours à l'analyse scientifique. Dans le cas où nous nous appuyons sur des écrits de ces physiciens, nous citons les documents sur lesquels nous nous sommes appuyés, sans pour autant en donner les références précises afin de préserver l'anonymat. Le recours à ces publications n'est pas systématique, car assez peu de physiciens disposent de publications qui laissent émerger des *themata*. Les *themata* transparaissent peu dans les publications scientifiques, davantage dans les publications ou conférences moins spécialisées, mais ce genre de publications concerne peu de physiciens.

PRÉSENTATION DES DISCOURS : MONTRER LES DIFFÉRENCES OU LES RESSEMBLANCES ?

Comme nous l'avons déjà précisé, nous cherchons à savoir s'il existe des *themata* préférentiels pour les physiciens indiens et français. Il existe bien sûr des différences dans les arguments et

les réponses des physiciens au sein de chaque groupe. Et nous ne cherchons pas à les cacher. Au contraire, pour chacun des themata analysés, nous décrivons les différents types d'arguments proposés au sein chaque groupe. Et nous pourrions justement observer que, ces différents arguments ne sont pas priorisés de la même manière parmi les physiciens indiens et français ! Ils sont donc bien sûr différents entre eux ces physiciens, mais nous cherchons à connaître les éventuelles ressemblances qui les font appartenir à l'un des deux groupes préférentiellement en termes de themata.

DE QUELLE DISCIPLINE RELÈVE CETTE RECHERCHE ?

La sociologie des sciences s'intéresse habituellement à la structuration des communautés scientifiques et à la construction des objets et des controverses scientifiques (Pickering 1984, Roqueplo 1993, Callon 2006). Elle est assez peu familière **des modes de représentation du réel** impliqués dans la pensée scientifique en elle-même. Ce secteur de recherche est plus traditionnellement dévolu à la philosophie des sciences ou à l'épistémologie. Ces dernières, par contre, si elles s'intéressent effectivement aux modes de représentation issus de la pensée scientifique, ne les étudient pas selon la variété des perceptions culturelles humaines. Il existe donc un espace peu peuplé, qui n'appartient pas tout à fait à la sociologie des sciences, ni à l'épistémologie, mais à leur rencontre. Nous situons notre présente recherche dans cet espace. La discipline dont relève cette recherche n'a pas d'existence propre, on pourrait l'appeler « socio-philosophie des sciences », puisqu'elle utilise la démarche sociologique pour analyser des objets qui relèvent de la philosophie des sciences. Par ailleurs, au sein même de la sociologie, nous nous situons dans une approche ethnologique (ou anthropologie sociale), car notre recherche est basée sur une étude comparative et explicative d'un caractère social et culturel.

CHAPITRE IV. ANALYSE DES *THEMATA* DES PHYSICIENS INDIENS ET FRANÇAIS

Nous avons dit plus haut que les *themata* sont des couples de concepts ontologiques. Voici les cinq *themata* que nous allons analyser :

Déterminisme/indéterminisme

Continu/discontinu

Subjectivité/objectivité

Ordre/désordre

Systemisme/réductionnisme

Pourquoi ces cinq-là ? Pourquoi ne pas avoir traité par exemple le *thema* réalisme/non réalisme ou le *thema* idéalisme/empirisme ? Parce qu'avec ces cinq *themata*, nous balayons une bonne largeur du spectre des représentations sur le réel liées à la physique. Mais aussi parce que ces cinq *themata* sont particulièrement reliés à l'interprétation de la physique quantique, comme nous le montrons plus loin. Et l'interprétation de la physique quantique est le support principal sur lequel nous allons tenter de mettre à jour les *themata* des physiciens, grâce aux enjeux qu'elle pose sur le réel.

Nous allons discuter les caractéristiques suivantes qui ressortent de notre analyse :

Les physiciens indiens apparaissent
plus déterministes que les Français,
plus attachés à une vision discontinue de la matière
accordent un rôle plus important à l'observateur,
se représentent davantage la nature comme ordonnée,
ont une approche plus systémique.

Les physiciens français apparaissent plus indéterministes que les Indiens, plus attachés à la représentation continue de la manière, accordent un rôle plus important au caractère objectif de la connaissance, se représentent davantage la nature comme chaotique, ont une approche légèrement plus réductionniste.

Chaque analyse de *themata* est élaborée à partir d'un ensemble de questions, entre deux et quatre questions par *thema*. Nous avons fait en sorte que les questions soient différentes pour chaque *thema*, autrement dit, il n'y a pas de questions qui soient communes à plusieurs *themata*. L'entretien, avec ses différentes questions a pour but de faire émerger les *themata* du physicien rencontré. L'entretien comporte différentes parties.

Une première partie destinée à mieux connaître l'interlocuteur :

Nous discutons de manière non formelle, de sa discipline de travail (en cherchant à le classer parmi les expérimentateurs ou les théoriciens), de ses objets de recherche, de son parcours scolaire et professionnel, de ce qui l'a mené à devenir scientifique. Nous l'interrogeons aussi sur son univers familial, social et culturel.

Une deuxième partie (voir tableau ci-dessous) comporte des questions précises en rapport avec sa perception de ce qu'est la science, et comment elle doit être menée. Elles nous renseignent sur la conception que se fait le physicien de la science.

| Nom donné à la question | Formulation de la question |
|-------------------------------|---|
| « disciplines » | Les disciplines scientifiques vous paraissent-elles trop cloisonnées ? |
| « critères de scientificité » | Quels sont les critères les plus importants de scientificité ? |
| « théorie » | Quel est l'aspect le plus important pour une théorie ? Autrement dit, parmi plusieurs théories proposant une description d'un ensemble de phénomènes, quels sont les aspects qui donneraient votre faveur à l'une d'elles ? |
| « unification » | Devons-nous rechercher une théorie unificatrice ? |

Une troisième partie concerne les représentations du réel. Elle touche à la dimension métaphysique, particulièrement révélatrice de *themata*.

Certaines questions ont été inspirées des enquêtes philosophiques menées par *philpapers*²⁶.

| Nom donné à la question | Formulation de la question |
|--------------------------|--|
| « briques élémentaires » | À votre avis, existe-t-il des briques élémentaires de la matière et si oui, que sont-elles ? |
| « ordre nature » | La nature est-elle ordonnée ou chaotique ? |
| « conscience » | À propos de la conscience (impression d'un "Je" qui existe) : émerge-t-elle de la matière ou bien est-ce la matière qui émerge de la conscience ? |
| « univers » | Êtes-vous d'accord avec cette phrase : « Le futur de l'univers est déterminé par l'état présent de l'univers (indépendamment de notre capacité à le prévoir) » ? |
| « dualité » | Un fait peut-il être vrai et faux simultanément ? |
| « contrôle » | Devons-nous nous ajuster à la nature ou bien la contrôler ? |

Une quatrième partie concerne l'interprétation de la mécanique quantique, qui permet de mettre à jour des *themata*

Pour élaborer ces questions, nous nous sommes inspirés d'enquêtes menées lors de certaines conférences dédiées à la théorie quantique. Il s'agit de trois enquêtes sur les attitudes envers les fondamentaux de la mécanique quantique, publiées en 2013 (Schlosshauer, Kofler, and Zeilinger 2013), (Sommer 2013) et (Norsen and Nelson 2013) suite à une enquête de Tegmark en 1997 (Tegmark 1997). Elles ont été faites à partir d'un même questionnaire distribué à des physiciens, philosophes et mathématiciens participants à des conférences sur la mécanique quantique et ses interprétations. La première enquête a analysé 33 réponses au questionnaire, la deuxième 18, et la troisième 76. Il faut faire remarquer que les sujets des conférences ont influencé les types de personnes invitées, et cela a eu en général une influence notable sur les réponses²⁷. Ce qui ressort de ces enquêtes, c'est que les réponses étaient très partagées dans les trois enquêtes, et cela est dû notamment à la différence de thématique (et donc de public) assistant à chaque conférence. La répartition n'est pas d'un grand intérêt pour notre présente recherche, du fait du caractère orienté de chaque conférence qui détermine le type de public.

²⁶ The PhilPapers Survey was a survey of professional philosophers and others on their philosophical views, carried out in November 2009. The Survey was taken by 3226 respondents, including 1803 philosophy faculty members and/or PhDs and 829 philosophy graduate students (<http://philpapers.org>).

²⁷ Par exemple, le sondage de Norsen et Noder a obtenu plus de faveur que le sondage de Schlosshauer, Kofler et Zelinger en faveur de l'interprétation de Broglie - Bohm. Cela est lié au fait que le thème de la conférence concernée était « la théorie quantique sans observateurs ». Il n'est donc pas surprenant que les participants à cette conférence en particulier ont tendance à avoir plus de perspectives «réalistes», auraient tendance à être attirés par les théories comme de Broglie - Bohm.

Pour ceux qui voudraient cependant consulter les tableaux de réponses aux questions, ils se trouvent, en annexe 4. Contrairement aux trois enquêtes citées ci-dessus, notre enquête s'appuie sur des entretiens qualitatifs dans lesquels nous avons pris soin de définir les termes et de recueillir les arguments qui justifient les adhésions profondes des physiciens. Contrairement aussi à ces enquêtes, dans la nôtre, les physiciens n'étaient pas tous activement impliqués dans la réflexion autour des enjeux d'interprétation de la théorie quantique. C'est pourquoi, dans certains cas, les physiciens répondaient directement aux questions, dans d'autres, une discussion s'engageait autour des différentes expériences (comme les expériences d'Aspect, ou l'expérience de pensée de Schrödinger) qui engendrent des problèmes et paradoxes. À la demande de certains physiciens, j'ai parfois procédé à un rappel sommaire des expériences et enjeux tel qu'expliqué dans les pages suivantes (IV.A) ou en annexe 6. Dans ce cas, ma présentation a été aussi neutre que possible afin de ne pas influencer leurs représentations. Comme les discussions autour de l'interprétation de la théorie quantique peuvent vite se montrer très abstraites, il est nécessaire parfois d'amener les physiciens à un certain exercice de formulation et il m'arrive de les relancer pour être certaine que les mots employés désignent bien ce qu'ils pensent.

Nous utilisons parfois le sigle « MQ » pour « Mécanique Quantique ».

| Nom donné à la question | Formulation de la question |
|-------------------------|---|
| « interprétation » | Quelle interprétation de la mécanique quantique est la plus convaincante pour vous ? |
| « problème MQ » | Quel est le principal problème d'interprétation pour vous en mécanique quantique ? |
| « Bell » | Quelle est la conséquence de l'observation de la violation des inégalités de Bell, selon vous ? Peut-on dire que les particules intriquées sont non locales ou non séparables ? |
| « désintégration » | Que pensez-vous du caractère aléatoire des événements quantiques individuels tels que désintégration radioactive d'un atome ? Est-ce purement aléatoire ou bien existe-t-il un déterminisme caché ? |
| « avant la mesure » | Les objets physiques ont-ils leurs propriétés (position, vitesse, etc.) définies indépendamment et avant la mesure ? |
| « microphysique » | La microphysique (sous le nanomètre 10^{-9} m qui correspond à la taille d'un atome) se réfère-t-elle à des entités discrètes ou continues ? |

| | |
|----------------|---|
| « Heisenberg » | Êtes-vous d'accord avec cette proposition d'Heisenberg ²⁸ de remplacer le concept d'une particule fondamentale par celui d'une symétrie fondamentale ? |
|----------------|---|

Une dernière partie, dédiée aux aspects culturels, permet de situer le physicien sur ses ancrages culturels et la manière dont ceux-ci interagissent avec la science

Nous discutons du rapport science/religion, de la pertinence scientifique des anciens textes de leurs traditions savantes, afin de mieux les saisir dans leur dimension culturelle, en rapport avec la science.

Voici la manière dont les questions se rapportent aux *themata* :

| <i>Themata</i> | Questions utilisées pour révéler l'adhésion au <i>thema</i> |
|------------------------------------|---|
| Déterministe/indéterministe | "Désintégration" "Univers" |
| Continu/discontinu | "Briques élémentaires" "Microphysique" "Bell" |
| Objectif/subjectif | "Avant la mesure" "Conscience" |
| Systémiste/réductionniste | "Disciplines" "Unification" |
| Ordre/désordre | "Heisenberg" "Ordre" "Contrôle" |

L'entretien et ses différentes questions permettent de classer les physiciens dans les différentes réponses et postures possibles. Nous nous appuyons également sur des articles ou documents de vulgarisation qu'ils ont produits et qui peuvent laisser transparaître leurs idées.

Nous allons dresser, pour chaque *thema*, les attitudes des physiciens indiens et français. les questions qui s'y rapportent et qui nous permettent de juger de l'adhésion des physiciens à ce

²⁸ Dans sa biographie (Heisenberg 1971) cf. explications au chapitre IV.E.

thema. Enfin, nous établissons une analyse statique des degrés d'adhésion des physiciens à ce *thema*, pour chaque groupe de physiciens indiens et français.

Nous verrons que certaines questions sont très marquées en termes de différences entre Indiens et Français – par exemple la question de la matière est continue pour 26 % des physiciens indiens et 74% pour les physiciens français- alors que les *themata* révèlent des différences, mais moins marquées du fait du lissage engendré par la pluralité des réponses. Il faut donc apprécier les différences en prenant en compte ce lissage. Ainsi, un écart de quelques degrés d'adhésion peut sembler faible, mais la différence peut quand même être indicatrice²⁹. L'analyse qualitative des discours nous permet d'apprécier ce caractère significatif en comparant les postures et les arguments dans les deux groupes. Nous avons opté pour les *themata* plutôt que pour les questions individuelles, car cela renforce l'accès aux représentations profondes, même si les différences sont davantage lissées. Les questions isolées sont plus facilement biaisées par d'autres paramètres, comme nous le verrons avec plusieurs questions (la question de la symétrie par exemple, qui est influencée par la déférence à l'égard du personnage d'Heisenberg, p155).

Avant de passer à l'analyse des *themata* des physiciens, il nous faut encore présenter un élément de contexte, nécessaire à la compréhension des termes de l'analyse. Il s'agit des différents enjeux d'interprétation de la théorie quantique, que nous utilisons comme support des questions posées aux physiciens concernant leurs représentations du réel. Nous y ferons régulièrement référence dans l'analyse qui va suivre.

IV.A. LA MÉCANIQUE QUANTIQUE, UN RÉVÉLATEUR DE *THEMATA*

Parmi les théories de la physique contemporaine, la mécanique quantique est sans doute celle qui fait se cristalliser le plus d'attitudes divergentes devant une même théorie et est la mieux à même de révéler les *themata* des physiciens, c'est-à-dire leurs modes de représentation et d'interprétation du réel et des théories. L'application de la mécanique quantique ne pose en effet d'un point de vue pratique aucun problème particulier, du moins pas davantage que n'en posent d'autres théories physiques. Les problèmes émergent lorsque l'on essaie de comprendre le monde physique dont la mécanique quantique est censée offrir une description théorique. Dans ces tentatives de compréhension, c'est à dire d'« interprétation », des positions

²⁹ Nous revenons sur les marges d'erreur des données statistiques, dans le chapitre VII (Discussion générale).

philosophiques parfois extrêmes se révèlent. Nous avons expliqué plus haut que nous utilisons l'outil que sont les *themata*, de G.Holton, c'est-à-dire des : « croyances ontologiques fondatrices, globalisantes et indémontrables et le plus souvent implicites, ces *themata* se présentent sous la forme de couples d'opposition du type ordre versus désordre, continuité versus discontinuité » (Holton 1981). L'adhésion à ces *themata* n'est pas sans conséquence pour les physiciens eux-mêmes. Heisenberg estime ainsi qu' « à mesure que la science progresse, un nouveau domaine d'investigation ne soit parfaitement compréhensible que si le chercheur fournit l'effort énorme d'élargir ce cadre et de modifier la structure même de sa pensée. Il semble qu'Einstein, dans le cas de la mécanique quantique, n'était plus disposé, ou apte, à franchir ce pas. ». (Born 1972 11) En réalité, l'attitude d'Einstein se comprend en grande partie par son adhésion parfaitement consciente au réalisme, au déterminisme et à la localité, trois des postures que nous rencontrerons dans notre présentation de ces *themata*.

Les problèmes de la mécanique quantique ne sont pas le genre de problèmes scientifiques que l'on peut attribuer à une « simple » ignorance qui pourrait être comblée en améliorant nos outils théoriques³⁰. Il s'agit de problèmes radicaux, liés à une ambiguïté dans le rapport entre postulats et monde physique. Cette théorie physique est parfaitement opérationnelle, mais pose de nombreux problèmes d'interprétation sur plusieurs points que nous allons aborder. Il ne faut donc pas chercher la solution à ces problèmes dans le formalisme quantique lui-même, qui reste partiellement ininterprété. De plus, d'une manière ou d'une autre, toutes les interprétations qui ont été jusqu'ici proposées restent en décalage par rapport à nos représentations quotidiennes du réel et celles issues **de la physique classique, qui s'est d'abord intéressée aux phénomènes macroscopiques**³¹.

Par exemple, les idées de causalité, de déterminisme, de reproductivité d'une expérience, d'objectivité, sont des concepts fondamentaux qui ont permis de créer la science moderne. Certaines de ces postures ont été formulées durant l'Antiquité, d'autres, avec l'émergence des sciences modernes, il y a plus de trois cents ans. Ce sont les tensions entre la mécanique quantique d'un côté et les représentations quotidiennes du réel –associées à des postures épistémologiques- de l'autre, qui constituent l'ensemble des « problèmes » de la mécanique quantique que nous allons aborder.

³⁰ Même si des expériences récentes contribuent à tenter de résoudre quelques questions ontologiques (voir par exemple les expériences d'A.Aspect évoquées plus bas).

³¹ Si l'on veut introduire de la rigueur dans le vocabulaire, il faut substituer à cette opposition classique/quantique l'opposition macrophysique/microphysique. Ce qui fait intervenir des populations importantes d'atomes relève généralement de la macrophysique. Exceptions notables : supraconductivité, superfluidité de l'hélium, laser, ferromagnétisme, ferrimagnétisme.

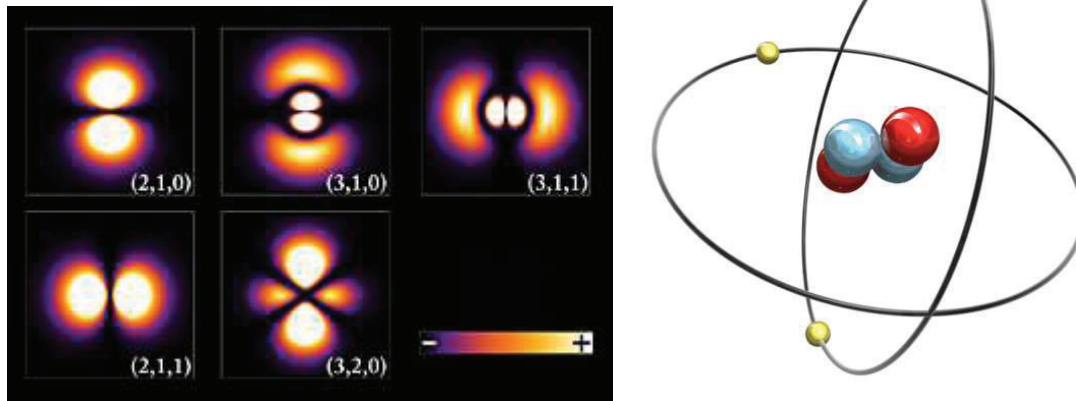


Figure 12 : Deux visions différentes d'une même réalité : l'atome.

Explications : À gauche, vision probabiliste, le spectre de couleurs représente la probabilité de trouver l'électron à un endroit donné. À droite, vision classique de l'atome fait de neutrons, de protons et d'électrons, un modèle depuis longtemps invalidé. Références des images : fonction d'onde de l'hydrogène, PoorLeno, atome d'Helium, Fabricio Zanier.

Un même objet peut se voir décrit et représenté de manières parfois très différentes, selon le contexte théorique choisi (par exemple l'atome figure 12).

Ces problèmes d'interprétation de la physique quantique n'offrent pas de solutions toutes faites. Elles font appel à des options philosophiques adoptées par les physiciens, leurs *themata*. Ce sont ces *themata* que nous allons rechercher à l'aide de différentes questions posées aux physiciens. Nous détaillerons plus précisément les enjeux autour des principaux « problèmes » de la physique quantique dans les parties qui vont suivre. Nous allons simplement ici les présenter brièvement, afin de pouvoir nous y référer. Nous utilisons le terme « problème » ou parfois « paradoxes », car il s'agit d'aspects de la théorie quantique, dont l'interprétation amène à des représentations peu conformes au monde quotidien ou classique. Notons que lorsqu'une théorie est mise en défaut par des faits, le problème ne vient pas forcément de la théorie. Feyerabend notait que jamais aucune théorie n'est en accord avec tous les faits auxquels elle s'applique, et pourtant, ce n'est pas toujours la théorie qui est en défaut (Feyerabend 1979). Pour lui, les faits peuvent être défaillants notamment quand ils reposent sur des idéologies anciennes. Feyerabend en déduit que des anomalies, même nombreuses et persistantes, ne doivent pas invalider une théorie. Cela semble s'appliquer bien au cas de la théorie quantique. Reste à

définir ce qu'est un fait et ce qu'est une mise en défaut. Les problèmes et paradoxes que nous détaillons maintenant ne sont pas forcément à prendre comme une mise en défaut.

Le problème dit « de la mesure »

Le problème central d'interprétation de la mécanique quantique est le problème dit de la mesure. Voici la manière dont on peut le présenter. Chacune des propositions suivantes, prises isolément, semble raisonnable, il y a de très bonnes raisons de penser, pour chacune d'entre elles, qu'elles sont vraies :

- La description d'un objet par sa fonction d'onde (ou son vecteur d'état) est une description complète de l'objet, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de données supplémentaires, couramment appelées « variables cachées », qui permettraient de spécifier davantage les propriétés d'un objet quantique.
- La fonction d'onde (ou le vecteur d'état) évolue dans le temps selon une équation dynamique linéaire qui est l'équation de Schrödinger.
 - Lorsque l'on fait une mesure, on obtient un résultat déterminé ou, dit autrement, **après une mesure, le système physique voit son état entièrement réduit à celui qui a été mesuré.**

Mais ces trois propositions sont mutuellement incompatibles dans la théorie quantique (Maudlin 1995 p11).

Les propositions 1 et 2 prises conjointement sont incompatibles avec la proposition 3. Si la dynamique quantique est complète et linéaire, alors les objets, même macroscopiques, devraient se trouver dans des états superposés relativement à certaines de leurs grandeurs. Les propositions 2 et 3 prises conjointement sont incompatibles avec la proposition 1. Si la dynamique quantique est linéaire et si les résultats de mesure sont uniques, alors il doit y avoir quelque chose de plus que la fonction d'onde qui détermine un résultat parmi le spectre de valeurs possibles associées à la superposition. Enfin, les propositions 1 et 3 prises conjointement sont incompatibles avec la proposition 2, car s'il n'y a pas de variables cachées qui déterminent un seul résultat de mesure, cela veut dire que toutes les composantes de la fonction d'onde à l'exception d'une (celle qui correspond au résultat) ont disparu, ce qui est impossible si l'équation d'onde est linéaire.

Une grande partie des solutions proposées au problème de la mesure consiste à miser sur le fait que la proposition 2 est fautive, à savoir que la fonction d'onde n'évolue pas toujours selon l'équation de Schrödinger. À un moment ou à un autre d'un processus de mesure, la fonction d'onde est réduite : tous les termes de celle-ci qui ne correspondent pas au résultat obtenu disparaissent.

Étant donné que ce problème soulève différents *themata*, nous l'abordons à travers différents chapitres de l'analyse.

Le problème de localité

Outre le problème, restant ouvert, de savoir à quel moment la fonction d'onde se réduit, Einstein a mis en évidence en 1927, lors du conseil Solvay, que cette réduction spontanée n'allait pas sans poser quelques problèmes de principe. Il nota en effet que la fonction d'onde associée à une particule peut se propager sur des distances qui peuvent être non négligeable. Comment, demanda-t-il, au moment où la particule se « matérialise » à l'endroit où elle est détectée, les autres parties de la fonction d'onde « savent » qu'elle s'est matérialisée à cet endroit et qu'elle ne peut donc plus se matérialiser à un autre endroit ? Aucun message physique ne peut être transmis plus rapidement que la lumière, selon la théorie de la relativité. Nous explicitons cet autre problème, p133 à propos de la continuité. Ce problème est communément appelé paradoxe EPR (pour Einstein, Podolsky et Rosen), ou problème de la non-localité (et nous verrons en fait qu'il devrait être appelé problème de non-séparabilité).

Paradoxe du chat de Schrödinger

Le problème de la mesure a été popularisé en 1935 par Erwin Schrödinger avec le « paradoxe du chat », qui consiste à spéculer sur le sort d'un chat qui serait enfermé dans une boîte (figure 13) contenant un noyau radioactif susceptible, en cas de désintégration, d'actionner un mécanisme qui provoquerait la mort de l'animal. Le formalisme de la mécanique quantique décrit un atome radioactif, après que le temps de demi-vie ait été écoulé, comme étant dans un état de superposition que l'on pourrait écrire : « atome désintégré + atome non désintégré ». Si cet atome est couplé avec un autre système physique, en particulier le reste de la boîte contenant le mécanisme mortel et le chat, alors l'état de l'atome devient étroitement lié à celui du reste, de manière à ce que, d'après l'équation de Schrödinger, l'état de la boîte complète évolue au bout du temps de demi-vie vers l'état : « atome désintégré, mécanisme actionné et chat mort »

+ « atome non désintégré, mécanisme non actionné et chat vivant ». On dit alors que les états de l'atome, du mécanisme et du chat sont « intriqués » ou encore « enchevêtrés ». Le paradoxe est alors apparent : si la mécanique quantique offre une description complète du système physique et si l'état évolue vraiment selon l'équation de Schrödinger, il est impossible d'attribuer au chat un état qui le caractérise en soi.

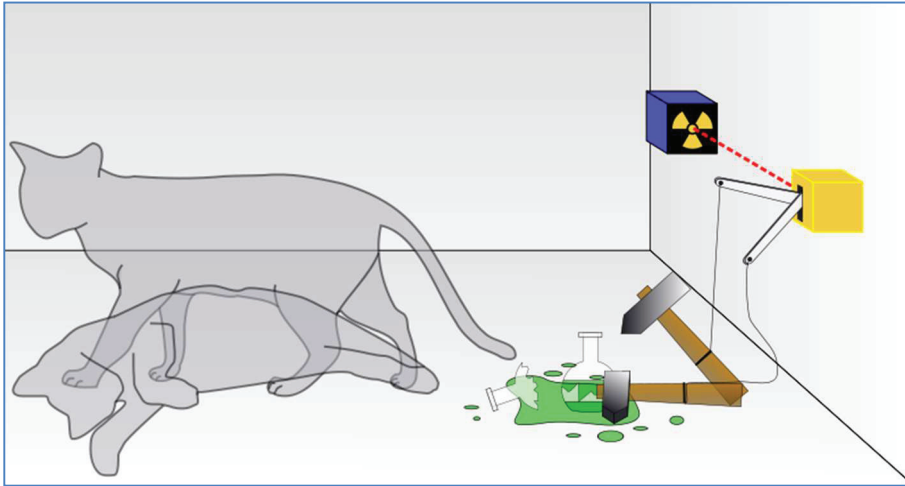


Figure 13 : Illustration de l'expérience de pensée du « chat de Schrödinger ». *Diagram of Schrödinger's cat theory.* 2008. Dhatfield.

Autres problèmes

Parmi les autres problèmes soulevés par la théorie quantique, citons la dualité onde/corpuscule, que nous allons également aborder plus loin. Il y a aussi le problème lié au rôle spécifique de l'observateur, que nous traitons spécifiquement, et également celui lié à l'indéterminisme. Les physiciens évoquent aussi le problème de compatibilité avec la théorie de la gravitation (relativité). En effet, selon l'interprétation que l'on donne à la mécanique quantique, il existe ou non un conflit entre l'ontologie de celle-ci et l'ontologie de la relativité restreinte³².

La plupart des paradoxes sont liés au problème de la mesure, mais les conséquences qui en découlent peuvent soulever des paradoxes différents, dont l'acceptation sera plus ou moins difficile selon les personnes, comme nous allons le voir avec les physiciens rencontrés. C'est d'ailleurs le rapport plus ou moins difficile avec ces problèmes ou paradoxes qui a engendré les différentes interprétations de la théorie quantique, que nous exposerons plus loin. Elles furent

³² Avec l'interprétation de Copenhague, par exemple, on aboutit à une manière de décrire le réel qui apparaît incompatible avec la relativité, notamment sur les notions de temps, d'espace, de matière et d'énergie (Rovelli 2014). Comme il y a peu de situations physiques courantes dans laquelle les deux théories s'appliquent simultanément, ce problème n'est pas souvent soulevé, en particuliers par les physiciens rencontrés lors du travail de thèse.

bien souvent, à l'origine, proposées par des physiciens qui cherchaient une interprétation compatible avec leurs représentations.

IV.B. *THEMA* DÉTERMINISME/INDÉTERMINISME

Afin de déterminer si le pays et la culture d'origine des physiciens influencent l'adhésion thématique au déterminisme, nous leur avons posé deux questions pendant les entretiens, et pour certains nous avons aussi exploré leurs publications pour compléter leurs réponses.

Les deux questions qui permettent de classer les physiciens dans leur degré d'adhésion à ce *thema* déterminisme/indéterminisme sont

« désintégration » : *Que pensez-vous du caractère aléatoire des évènements quantiques individuels tels que la désintégration radioactive d'un atome? Existe-t-il un déterminisme caché ou bien l'aléatoire est-il un concept fondamental dans la nature?*

« univers » : *Êtes-vous d'accord avec cette phrase : le futur de l'univers est déterminé par l'état présent de l'univers maintenant (indépendamment de notre capacité à le prévoir) ?*

Les entretiens et les publications nous permettent de classer les physiciens dans différentes cases :

| Déterminisme | Évènement quantique individuel (question « désintégration ») | | | Univers dans son ensemble (question « univers ») | | |
|----------------------------|---|------------------|----------|---|------------------|----------|
| | Déterminisme | Non-déterminisme | Les deux | Déterministe | Non déterministe | Les deux |
| Physiciens français | 24% | 76% | | 48,4% | 48,4% | 3,2% |
| Physiciens indiens | 47% | 50% | 3% | 64% | 29% | 7% |

Tableau 9 : synthèse de la répartition des réponses se référant à l'aspect déterministe de l'univers ou d'un évènement quantique individuel, tel que la désintégration radioactive d'un atome, selon l'origine des physiciens, français ou indiens. Les pourcentages indiquent le nombre de physiciens qui ont opté pour telle réponse, sur le nombre total de réponses. Ce nombre total est souvent de 35, parfois moins quand il y a des réponses manquantes pour des raisons diverses.

DEGRÉ D’AFFINITÉ POUR LE DÉTERMINISME

À partir des réponses, nous pouvons établir une tendance qui renseigne le degré d’affinité au sein du *thema*.

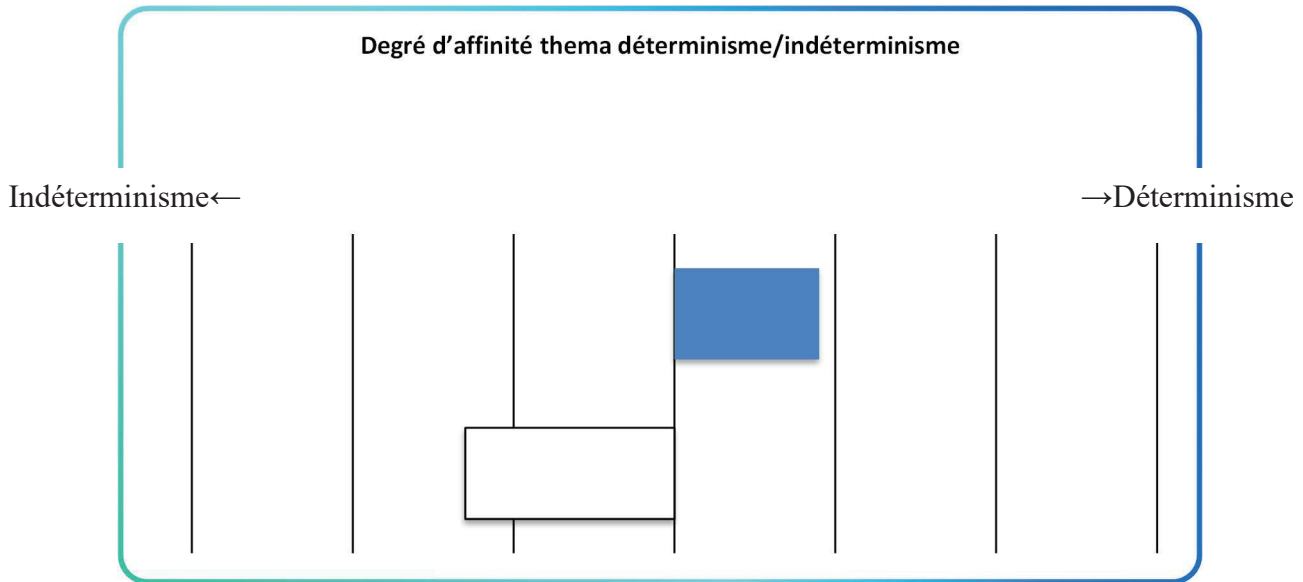


Figure 14 : Degré d’affinité pour le déterminisme au sein du *thema* déterminisme/indéterminisme.

Explication du graphique : Ce coefficient rend compte de l’adhésion des physiciens au déterminisme dans la nature : plus celui-ci est proche de 1, plus les physiciens perçoivent un déterminisme dans la nature, plus il va vers -1, plus l’indéterminisme a leur faveur. Son calcul est basé sur les réponses aux questions - « désintégration » : la réponse « aléatoire » compte pour -1, la réponse « il existe un déterminisme sous jacent compte pour 1 - et « univers » : la réponse en faveur d’une évolution déterministe compte pour 1, la réponse en faveur d’une évolution non déterminée compte pour -1.

Les réponses intermédiaires type « les deux » sont notées 0 et les non-réponses (type « je ne sais pas » ne sont pas comptées).

Les chiffres sont arrondis deux chiffres après la virgule.

| | Physiciens français | Physiciens indiens |
|--|---------------------|--------------------|
| Degré d’affinité thématique au déterminisme | -0,26 | 0,18 |

Nous pouvons observer dans la figure 14 que le déterminisme est choisi par une plus grande proportion de physiciens indiens que français. La répartition statistique des réponses pourrait suffire à prouver que les physiciens indiens se montrent plus attachés au déterminisme que les

Français, mais le faible nombre d'entretiens limite la portée du résultat. Par contre, ce faible nombre d'entretiens nous permet d'avoir des entretiens approfondis, avec des arguments que nous pouvons analyser. Et c'est cette analyse plus détaillée des arguments qui nous permet de mieux comprendre ce qui se dessine derrière cette préférence et ajouter une preuve de la préférence thématique des physiciens indiens en faveur du déterminisme et de l'indéterminisme pour les Français. Nous allons donc voir maintenant quels sont les arguments apportés par les physiciens qui justifient leur choix de réponse. Et nous allons analyser sur quoi sont fondées ces différences. L'analyse qualitative complète l'analyse quantitative, dans la recherche des arguments apportés et de leurs différences.

Nous allons ainsi montrer que plusieurs éléments différencient les arguments des physiciens français et indiens.

Les physiciens français critiquent plus facilement le déterminisme. Soit parce qu'ils le voient comme un concept construit pour rassurer les humains. Soit parce qu'ils ont plus de facilité que les Indiens à remettre en cause les principes fondamentaux tels que le déterminisme a pu l'être pour la science. Les physiciens indiens ont moins tendance à remettre en cause des concepts canoniques.

Le principe du déterminisme repose aussi pour un certain nombre de physiciens indiens sur une conception particulière de la science « le déterminisme est la base de la science », un argument qu'on ne retrouve pas cité chez les Français.

Les physiciens français estiment plus généralement qu'un monde déterministe est triste. Alors que pour les physiciens indiens, le déterminisme correspond plus souvent à un monde bien ordonné, plus rassurant. Pour plusieurs physiciens indiens, l'homme ne peut pas agir dans un monde aléatoire, alors que c'est l'inverse dans les discours de physiciens français pour qui l'homme ne peut pas agir dans un monde déterministe.

Nous affichons ici les grandes tendances. Sur certains autres aspects, les physiciens indiens et français se rejoignent, notamment sur le fait de distinguer le déterminisme des systèmes ouverts et fermés ou de confondre chaos et aléatoire. Nous n'allons pas ici détailler ces ressemblances, même si elles constituent des éléments intéressants de convergence, pour nous focaliser sur l'analyse des différences dans les arguments qui se cachent derrière l'attachement au déterminisme ou à l'indéterminisme. De même, il existe un certain nombre de physiciens indiens qui adhèrent à l'indéterminisme et beaucoup de physiciens français au déterminisme, mais nous nous concentrons ici sur les positions majoritaires.

Avant de décrire plus en détail ces différents arguments, il est utile de rappeler l'évolution de la place du déterminisme dans la science moderne.

LES ENJEUX DU DÉTERMINISME

« Une intelligence qui, à un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était suffisamment vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome ; rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux » (Laplace 1840). C'est en ces termes que le mathématicien français Pierre Simon de Laplace formula ce qui allait devenir une des présentations les plus célèbres du concept de déterminisme.

Une explication simple du déterminisme est de dire que les mêmes causes produisent les mêmes effets³³. Chaque changement, chaque mouvement d'objet est déterminé par ses conditions initiales et par les forces qui agissent sur lui. En interprétant la fonction d'onde de la mécanique quantique de manière intrinsèquement probabiliste, Max Born fut le premier, en 1926, à remettre explicitement en question le déterminisme à un niveau ontologique. « Ici se pose tout le problème du déterminisme. Du point de vue de notre mécanique quantique, il n'existe pas de grandeur qui, dans un cas particulier, déterminerait causalement l'effet d'une collision. [...] Devons-nous espérer que l'on découvre plus tard de telles propriétés [...] et que certains cas puissent être déterminés ? Ou devons-nous croire que l'incapacité, partagée aussi bien par la théorie que par l'expérience, de trouver les conditions d'un déroulement causal provient d'une *harmonie préétablie*, qui repose sur l'inexistence de telles conditions ? Je serais d'avis, quant à moi, de renoncer au déterminisme dans le domaine de l'atome » (Born, 1926). Einstein, c'est connu, n'était pas de cet avis. Dans une lettre à Max Born au cours de la même année, il affirma son désaccord en ces termes : « Je suis, en tous cas, convaincu que Lui ne joue pas aux dés. » (Einstein, 1972). Parmi les pères fondateurs de la mécanique quantique, seuls Louis de Broglie et Erwin Schrödinger suivirent Einstein dans son refus d'abandonner le déterminisme.

³³ Même si l'on a souvent prétendu que la théorie classique du chaos remettait déjà en cause cet idéal de la physique classique, la restriction qu'elle imposait au déterminisme se faisait à un niveau épistémique (c'est-à-dire au niveau de notre capacité de connaître et de prédire) et non à un niveau ontologique (c'est-à-dire au niveau de la réalité du monde).

Les membres du puissant axe Copenhague-Göttingen, centrés autour des deux grandes figures, Max Born et Niels Bohr, furent dans l'ensemble enthousiastes pour prendre le virage de l'indéterminisme. Dans le cadre de la mécanique quantique, le déterminisme est mis en question. En effet, les mesures effectuées sur des objets quantiques semblaient produire des résultats non déterministes. Autrement dit, les mêmes causes ne donnaient pas les mêmes effets. Expliquons le problème. L'interprétation orthodoxe de la mécanique quantique, qui est l'interprétation usuellement présentée dans les manuels (en France comme en Inde, puisqu'il s'agit globalement des mêmes manuels) estime que, lors d'une mesure, l'état du système change de manière spontanée et probabiliste (voir en annexe 6 « le problème de la mesure »). En fonction du résultat expérimental de cette mesure, l'état se retrouve projeté -on dit aussi réduit- selon le vecteur correspondant au résultat de la mesure. Ainsi, la mesure perturbe le système de façon imprévisible. L'interprétation orthodoxe affirme que ces prédictions probabilistes ne sont pas dépassables en principe : rien ne permet de prédire mieux que le formalisme quantique quel résultat de mesure va être effectivement observé. Elle reconnaît donc deux évolutions différentes d'un système quantique :

Une évolution temporelle, selon une équation déterministe, dite équation de Schrödinger.

Une seconde évolution qui a lieu lors d'une opération de mesure et se base sur des probabilités d'états.

Ces différentes évolutions obéissent à un formalisme mathématique très précis et qui a fait ses preuves³⁴. La théorie quantique possède donc un élément de nature déterministe : il s'agit de l'équation différentielle de Schrödinger, qui régit l'évolution de l'état du système en dehors des opérations de mesure. Entre deux mesures, l'état du système évolue linéairement en fonction des interactions qu'il reçoit. On peut donc dire que l'évolution d'un système entre deux mesures est déterministe. Mais que se passe-t-il au moment de la mesure ?

Comment interpréter ce double comportement, à la fois déterministe et indéterministe ? Pour les pères de l'interprétation orthodoxe actuelle, les probabilités quantiques ne reflètent pas une ignorance de notre part – comme c'est le cas en mécanique statistique³⁵, mais soulignent le caractère fondamentalement indéterminable du système. L'interprétation orthodoxe estime que,

³⁴ Le formalisme contient d'ailleurs intrinsèquement l'ambivalence entre déterminisme et aléatoire. « Des opérateurs qui ne commutent pas ne peuvent pas être associés à des quantités simultanément et exactement déterminées, mais à des distributions spectrales dont chaque composante est affectée d'une certaine fréquence. Si l'un des opérateurs correspond à une quantité qui se trouve être exactement définie (par une seule valeur, de façon certaine), l'autre correspond à une quantité totalement indéterminée. Tel est, par exemple, le cas des trois composantes du spin d'une particule, qui ne commutent pas entre elles. » (Paty 1986, p.10)

³⁵ En mécanique statistique, les probabilités ne reflètent que la méconnaissance des états exacts des systèmes individuels ; la théorie ne prétend pas être une description complète du système. La mécanique quantique interprétée de façon orthodoxe se veut à l'inverse une description complète, où les probabilités reflètent un hasard fondamental (Boyer 2011).

puisque les prédictions ne peuvent être que probabilistes, le monde – en tous cas le monde microscopique ou plus généralement quantique - est fondamentalement indéterministe. Certaines interprétations alternatives ont essayé de remettre du déterminisme dans la théorie. Ainsi, en 1951, David Bohm ressuscitait et complétait une ancienne théorie déterministe à variables cachées³⁶ développée en 1927 par Louis de Broglie, et nommée par ce dernier « la théorie de l'onde pilote ». Les probabilités quantiques n'y sont que le reflet d'une ignorance subjective vis-à-vis des valeurs de variables cachées, c'est-à-dire non présentes dans la théorie quantique stricte (Boyer 2011). En 1957, Hugh Everett proposait, quant à lui, une autre manière de rétablir le déterminisme universel - sans recourir aux variables cachées. Sa théorie des « états relatifs » a été reprise par différents commentateurs, dont Brice de Witt qui a introduit l'idée de « mondes multiples », d'où l'appellation de Many World Interpretation (MWI). Rappelons que la thèse et l'article d'Everett (Everett 1957) insistent sur l'unicité du monde quantique (il parle de « universal wave function »). L'interprétation MWI est également déterministe bien qu'elle décrive un univers (ou plutôt un multivers) dans lequel les individus vivent des expériences qu'ils appréhendent comme foncièrement probabilistes à un niveau personnel (nous explicitons plus en détail ces différentes interprétations dans le chapitre V qui concerne l'influence des *themata* sur les interprétations).

Le débat sur la question du déterminisme occupait la première place des discussions sur les fondements de la mécanique quantique à la fin des années 1920 et au début des années 1930. Où en est-on aujourd'hui ? Si l'interprétation orthodoxe est celle qui a le plus de succès dans les manuels, ce n'est pas forcément la plus acceptée par les personnes qui travaillent sur les fondements de la théorie quantique comme le montrent trois enquêtes sur les attitudes envers les fondamentaux de la mécanique quantique publiées en 2013 (Schlosshauer et al. 2013), (Sommer 2013) et (Norsen and Nelson 2013) suite à une enquête de Tegmark en 1997 (Tegmark 1997) (nous reviendrons sur ces enquêtes par la suite).

Le fait que le débat ne soit pas clos permet donc de faire ressortir les préférences thématiques.

REVENONS SUR LES DEUX QUESTIONS POSÉES AU SUJET DU DÉTERMINISME :

³⁶ Les approches de types « variables cachées » seront souvent appelées « approches Bohmiennes » en référence au physicien David Bohm.

Que pensez-vous du caractère aléatoire des évènements quantiques individuels tels que désintégration radioactive d'un atome ? Est-ce purement aléatoire ou bien existe-t-il un déterminisme caché ?

Dans notre question, nous opposons « déterministe » à « aléatoire ». En effet, un évènement aléatoire est un évènement dont l'observateur est dans l'impossibilité de prédire les effets. Donc le qualificatif d'« aléatoire » traduit notre incapacité à relier la cause à l'effet. Mais cette incapacité peut être soit due au caractère fondamentalement indéterministe de l'évènement et dans ce cas là, il s'agit bien de « non-déterminisme », soit à une incompetence de notre part. Quand nous inscrivons les physiciens dans la case « non-déterminisme », c'est bien qu'ils n'attribuent pas ce comportement à une méconnaissance, mais bien au caractère intrinsèquement aléatoire.

On pourrait penser que d'autres phénomènes physiques tels que les phénomènes chaotiques sont aléatoires. En fait, même si les conditions aux limites extrêmement sensibles de ce genre de phénomènes rendent impossible pour un humain de connaître l'ensemble des effets, ils restent déterministes, c'est-à-dire déterminés par les conditions initiales. Même la théorie classique du chaos reste déterministe, l'apparence de hasard étant due à notre capacité de connaître et de prédire (cf. note 34).

Un atome qui se désintègre est « le seul vrai phénomène aléatoire dans la nature » dit L.P, l'un des physiciens interrogés. C'est vraiment quelque chose qui est purement aléatoire. On ne peut pas dire : celui-là, il a un peu plus de chance de le faire maintenant que son voisin à côté ». D'un autre côté, il existe des lois – déterministes- de désintégrations radioactives. Comme le dit J.J, elles sont largement utilisées, « c'est même comme cela qu'on mesure le plus précisément possible la seconde puisque c'est avec le nombre de transitions entre deux niveaux hyper fins ». Ainsi comment considérer l'aléatoire ? Comme régi par des lois déterministes ou bien comme un concept fondamental dans la nature, irréductible ? Tel est le problème posé aux physiciens, qui doit nous permettre de sonder leurs penchants déterministes...

Pour compléter notre compréhension de la représentation déterministe du réel par les physiciens, nous leur avons posé une autre question :

Êtes-vous d'accord avec cette phrase : le futur de l'univers est déterminé par l'état présent de l'univers maintenant (indépendamment de notre capacité à le prévoir) ?

Il s'agit ici de les interroger sur le caractère déterministe non pas d'un évènement individuel, mais de tout l'univers. Et là encore, nous insistons bien sur le fait que notre question ne porte pas sur notre capacité de prédiction, mais sur le comportement des évènements dans l'absolu.

Nous pouvons voir que les réponses sont différentes sur cette question concernant l'univers entier, par rapport à la question sur les événements individuels.

LES DIFFÉRENTS ARGUMENTS.

Rappelons que les arguments présentés ici en faveur ou en défaveur d'une vision déterministe – comme ce sera le cas pour chaque thema- ne sont pas mes arguments. Il s'agit des arguments avancés par les physiciens. Nous n'avons aucune ambition de trancher le débat. Notre seule ambition est de classer les arguments des physiciens et de déceler d'éventuelles différences de représentation parmi eux.

« C'est comme les flocons de neige, chacun peut tomber de manière aléatoire, il peut être plus ou moins sensible au vent et varier de quelques mètres, mais à la fin, vous avez quand même un tapis uniforme » J.R, théoricien

Les physiciens, qu'ils soient indiens ou français, distinguent majoritairement les événements individuels et les ensembles d'événements : les premiers sont aléatoires, les seconds sont déterministes. L'univers peut donc évoluer de manière déterministe avec, en son sein, des événements aléatoires. Il y a donc une différence entre l'évolution des systèmes ouverts ou individuels, et l'évolution des grands ensembles ou des systèmes fermés. Mais les physiciens indiens et français ne réagissent pas de la même manière face à cette distinction entre événements isolés et ensembles d'événements.

Déterminisme et prédictibilité

Pour certains physiciens français, le déterminisme n'est pas un concept qui renseigne sur la réalité physique, c'est uniquement un concept humain. X.P explique : « Je trouve que le terme « déterministe » est trop lié à la conception anthropocentrique. Ce qui n'est pas prédictible ne renseigne pas sur la réalité physique. Donc on ne peut le qualifier ni de déterministe ni d'aléatoire, c'est juste non prédictible. Qu'est-ce qui est prédictible par la physique ? C'est la statistique. » (J.I) également rejette le concept « L'aléatoire est ce qui ne rentre pas dans le cadre de l'outil prédictible. Il n'y a pas d'aléatoire dans ce sens-là, dans l'évolution de cet état de l'univers global qui est virtuel, car on ne pourra jamais le tester ». Au contraire, pour des

physiciens indiens, le principe du déterminisme est constitutif de la science, argument qu'on ne trouve pas cité chez les Français. Le doctorant J.L explique ainsi que, pour lui, le déterminisme est la base de la science, et qu'il croit au déterminisme de la même manière qu'il croit en la science (D.S.) Pour une physicienne, qui travaille sur la matière noire, le critère le plus important de scientificité est la reproductibilité, le fait de pouvoir reproduire des expériences. Or c'est le déterminisme qui rend possible cette reproductibilité (J.L). D'après L.L, nous créons de la causalité en faisant de la science, c'est notre manière de comprendre le monde, d'y introduire de la causalité : « causality is the underlying principle of scientific idealizations » explique-t-il à l'occasion d'une conférence grand public. Ainsi, à une certaine époque, l'aléatoire était le spectre atomique. Puis le modèle de Thomson a permis d'y déceler une causalité. Mais un nouvel aléatoire est venu de l'arrangement des électrons. Puis une forme de causalité est venue des modèles quantiques. Sur cette nouvelle causalité est venu se greffer un aléatoire : l'effondrement de la fonction d'onde. La causalité n'est pour lui qu'une forme d'idéalisation du monde, mais c'est la démarche de la science. Pour lui, la causalité est liée à la recherche rationnelle, objective d'une cause ultime, tandis que l'aléatoire est relié à une partie plus subjective en nous, une quête divine intuitive, qui ne passe pas par l'objectivité rationnelle. Un autre jeune théoricien dit : « randomness is a fundamental concept in nature but it give us the possibility to predict all the probabilities » (L.H). Pour eux, la science doit être prédictive, donc déterministe. C'est ce qu'on leur a enseigné et ils semblent ne pas vouloir spécialement le remettre en cause. Certains physiciens indiens s'abritent derrière ce qui a été enseigné que ce soit pour soutenir le déterminisme ou pas : « There is a probabilistic description. I don't know if there is determinism behind because I think all we have learned is that everything is probabilistic » (R.K). Cette attitude de confiance dans l'enseignement et dans les textes est assez répandue parmi les physiciens indiens.

Tristesse d'un monde déterministe ou inquiétude d'un monde aléatoire

Certains physiciens français expriment les sentiments qui les poussent à opter pour une vision indéterministe : « Je ne conçois pas l'évolution de l'univers comme déterminée, parce que ce serait triste », dit le physicien PZ. Un autre dit : « Moi ce qui me gêne avec le déterminisme ou le principe de la causalité, c'est le fait de l'appliquer au vivant. Par exemple le fait que l'on soit là en train de parler est déterminé par ce qu'ont fait nos arrières grands parents ? Si on remonte au niveau plus fondamental, si on dit que le vivant est géré par des interactions de la matière, le cerveau est géré par des lois, etc. Je ne sais pas. Honnêtement là. Je ne sais pas. Il est possible, pour des particules internes et isolées de refaire une expérience similaire, mais qu'en est-il

quand il s'agit d'un système complexe, biologique ? » (X.I) Cet argument est intéressant parce que, non seulement il fonde une adhésion au non-déterminisme sur un sentiment, mais il invoque aussi le niveau de complexité. En gros, ce qui serait « suffisamment » complexe - comme le vivant – ne serait pas soumis totalement au déterminisme. C'est d'ailleurs ce qu'a découvert Darwin, comme le rappelle B.Latour : « aucune loi ne mène une population d'êtres vivants, par exemple des chevaux, vers la population suivante, prétendument plus évoluée » (Latour 2010 p 198). Derrière cette volonté de donner au vivant le dépassement du déterminisme se cache le besoin de libre arbitre. Ainsi pour PX, « L'état présent de l'univers ne détermine pas l'état futur du moment où les actions que les humains vont entreprendre dépendent de leur libre arbitre et ne sont pas codées dans l'état actuel de l'univers ». Deux autres se positionnent sur leur absence de « besoin » de déterminisme, mais qui apparaît comme un besoin de non-déterminisme : « Je n'ai pas besoin de penser un déterminisme caché. Donc c'est aléatoire » (J.I). « Je trouve que ce qui est beau avec la mécanique quantique, c'est qu'elle nous montre un monde différent. Certains complexifient avec les interprétations, au prix d'hypothèses que rien ne suppose, je ne ressens pas le besoin de rétablir un déterminisme » (U.Z).

Les physiciens indiens au contraire, trouvent que l'indéterminisme est source d'inquiétude. Ainsi, la physicienne K.S adhère au déterminisme, dit-elle parce que « Nous n'avons pas d'autre concept sous la main, nous avons besoin d'une nouvelle philosophie. Sinon c'est assez inquiétant ! ». L'un des arguments des physiciens consiste à dire que l'univers est clos donc qu'il contient déjà toutes les informations, aucun événement extérieur à lui même ne peut survenir. “There is nothing outside the current universe that determines what's the future. The future is inherently non-determinist because of quantum mechanics. I have all the information about the current universe. Then I will be uncertain to some extent because of indeterminism. There is no information I can add to this that would make it deterministic. I said determinist in that sense ” (T.S). La manière dont je comprends cet argument est que, vu que l'on ne peut avoir davantage d'informations, on a toutes celles possibles et en ce sens, l'aléatoire même est déterministe. C'est sensiblement le même argument évoqué ici : « Vue la mécanique quantique, on devrait dire que l'univers n'évolue pas de manière déterminée, mais en fait, cet aléatoire fait partie des causes auxquelles je ne peux rien changer » dit A.J. Cet argument rejoint l'argument apporté par les physiciens français sur la différence entre systèmes clos et ouverts. Dans les systèmes clos, comme l'univers, tout est contenu, donc déterminé. Ils insistent par contre sur le rôle de l'homme dans le caractère indéterministe : « Je ne peux rien changer » « I can not add », montrent que quand l'homme ne peut pas changer les choses, c'est déterministe. Un autre

argument, proposé par un physicien travaillant dans le domaine des atomes ultra-froids consiste à dire qu'il existe un déterminisme caché « I think there is a hidden determinism. I think randomness is related to a quantity within the physical world, and it is not an arbitrary randomness in quantum theory. Someday I hope that quantum mechanics would be deterministic in a conceptual sense : same cause same effects even though we don't have any control on the results » (I.U.) . Ce physicien travaille sur l'idée de que les variables cachées ne sont en fait que la phase intrinsèque de la fonction d'onde. Il pense que le fait que l'on ne puisse pas prédire avec certitude le résultat d'une mesure est en lien avec le fait que l'on ne puisse pas attribuer de valeur absolue à la phase (c'est à dire, fixer la constante)³⁷. Un autre physicien qui travaille sur les fondements de la théorie quantique se range du côté de l'interprétation de Bohm. C'est pour lui, la plus convaincante, même si elle rencontre encore des lacunes, comme le problème de la mesure. Ce physicien avoue clairement que, pour lui, il existe un déterminisme dans la désintégration aléatoire des atomes. « Randomness is a non inconvenient device that we use when we cannot understand things. We call it randomness, I won't call it randomness, we just don't know the exact forces at the time and the direction » (K.S). Le post-doctorant I.P explique : « The entirely randomness of quantum mechanics can be described with hidden variable. I personally no... but there use to be contradictions in the theory of hidden variables ». Il aimerait qu'une interprétation à base de variables cachées fonctionne. Autre argument inattendu, la physicienne L.K. croit en un univers déterministe parce qu'autrement, dit-il, l'évolution obéirait à des processus discontinus : « I think I believe that evolution is a continuous process rather than a discontinuous one ». Ce qui est important, c'est de pouvoir continuer à prédire.

Le physicien R.K ne voudrait pas abandonner le déterminisme au mépris de l'ordre : « I don't think this is randomness in the sense that nothing is predictable, nothing is ordered » (R.K) Déterminisme ou non, on doit conserver la prédictibilité et l'ordre sous-jacent. On verra plus loin l'importance que les physiciens indiens accordent à l'ordre. Un autre physicien dit : « chaos also can be orderly » (K.P). Même l'imprévisibilité obéit à un ordre. Donc, le déterminisme est soumis à l'impératif du maintien de l'ordre.

37 Je dois à Adrien Vila-Valls de m'avoir aidé à comprendre les propos de ce physicien. D'après lui, cette idée remettrait en question des développements, notamment en théorie quantique des champs, car cela briserait la symétrie dans certaines théories par exemple, le modèle standard des particules, or ces symétries y jouent vraiment un rôle fondamental.

Nous venons donc de montrer que les préférences des physiciens indiens et français au sujet d'une vision déterministe étaient basées sur des arguments et des critères différents, notamment sur ce que doit être la science, et des paramètres émotionnels, inquiétude ou tristesse, au sujet de la place de l'homme dans cette représentation de l'univers.

IV.C. *THEMA* CONTINU/DISCONTINU

Afin de déterminer si le pays et la culture d'origine des physiciens influencent l'adhésion au *thema* continu/discontinu, nous leur avons posé trois questions pendant les entretiens, et pour certains nous avons aussi exploré leurs publications pour compléter leurs réponses au besoin.

Il s'agit de la question que nous avons nommée « briques élémentaires »

À votre avis, existe-t-il des briques élémentaires de la matière et si oui que sont-elles ?

de la question que nous avons appelée « microphysique »

La microphysique (sous le femtomètre 10-15 m qui correspond au noyau de l'atome) se réfère-t-elle à des entités discrètes ou continues ?

et de la question appelée « Bell »

Quelle est la conséquence de l'observation de la violation des inégalités de Bell, selon vous ? Peut-on dire que les particules intriquées sont non locales ou non séparables ?

Les deux premières questions ont un lien direct avec la vision continue ou discontinue de la matière, pour la troisième le lien est moins direct, et nous l'explicitons ci-dessous.

Les entretiens et les publications nous permettent de classer les physiciens dans différentes cases :

| Questions | Microphysique (entités) | | | | Briques élémentaires | | | | | Bell | | |
|-----------|-------------------------|-----------|----------|-------------|----------------------|-----------|----------|-------------|-----------------|---------------|-----------|-------------|
| | Discrètes | Continues | Les deux | Ne sait pas | Continues | Discrètes | Les deux | Ne sait pas | Aucune ou autre | Non séparable | Séparable | Ne sait pas |
| | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|----|-------|-------|------|------|-------|-----|-----|----|
| Physiciens français | 26% | 37% | 34% | 3% | 39,4% | 30,3% | 0% | 6,1% | 26,2% | 62% | 32% | 6% |
| Physiciens indiens | 74% | 17% | 8% | 0% | 9,1% | 45,4% | 6,1% | 0% | 39,4% | 53% | 47% | 0% |

Tableau 10 : Répartition des réponses des physiciens les questions « microphysique » « Briques élémentaires » et « Bell ». Les pourcentages indiquent le nombre de physiciens qui ont opté pour telle réponse, sur le nombre total de réponses. Ce nombre total est souvent de 35, parfois moins quand il y a des réponses manquantes pour des raisons diverses.

Explication : La cause « autre » dans la question « Briques élémentaires » concerne des objets ni continus ni discrets, par exemple les lois, l'information, l'espace-temps, etc.

À partir des réponses, nous pouvons établir une tendance qui renseigne le degré d'adhésion.

DEGRÉ D’AFFINITÉ - *THEMA* CONTINU/DISCONTINU

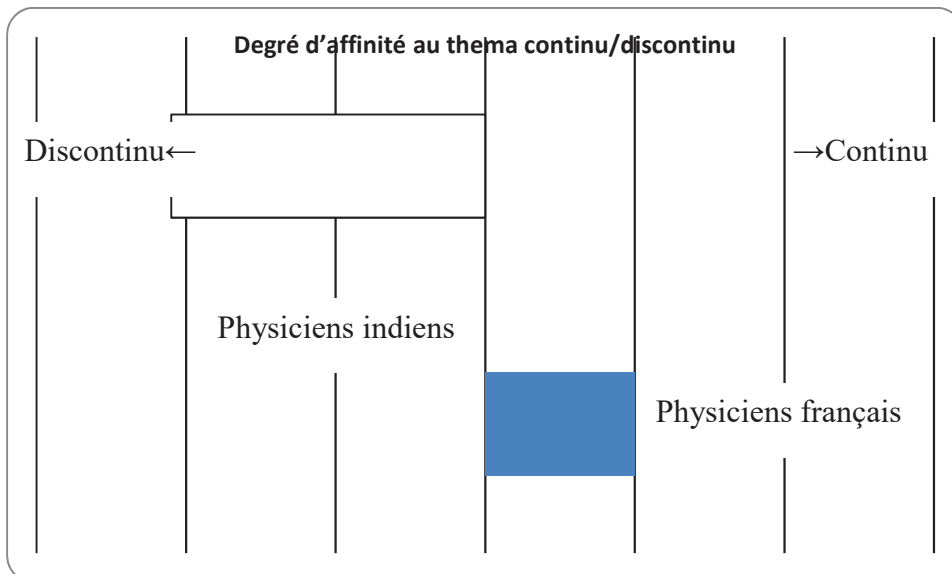


Figure 15 : Degré d'affinité pour la continuité au sein du *thema* continu/discontinu.

Explications : Ce coefficient rend compte de la représentation des physiciens de la continuité de la matière : plus ce coefficient est proche de 1, plus les physiciens perçoivent la matière comme continue, non séparée par des espaces vides, et inversement, plus il est proche de -1, plus la représentation de la matière est discrète. Son calcul est basé sur les réponses aux questions « microphysique » [caractère continu des objets du monde microscopique 1/caractère discret -1], « briques élémentaires » [objets continus comme les ondes 1, discrets comme les particules -1] ; et « Bell » [non-séparabilité des particules dans l'observation

expérimentale des inégalités de Bell 1 ou séparabilité -1]. Les réponses intermédiaires type « les deux », sont notées 0. Les autres réponses (absence de réponse, ne sait pas ou autre) ne sont pas comptabilisées.

| | Physiciens français | Physiciens indiens |
|--|---------------------|--------------------|
| Degré d'affinité thématique au continu | 0,2 | -0,42 |

RÉSULTATS ET DIFFÉRENCES

Une grande partie des physiciens français se positionne pour une dualité : c'est-à-dire que la matière leur apparaît à la fois continue et discontinue spatialement. Ce n'est pas vraiment le cas pour les Indiens, même s'ils sont nombreux à reconnaître qu'il peut y avoir des contextes expérimentaux qui mettent en valeur un aspect plus que l'autre, ils estiment souvent que la nature fondamentale de la matière est le plus souvent discontinue, marquée par des ruptures. Donc, nous observons bien une tendance des physiciens indiens à adopter une représentation discrète de la matière à son niveau le plus fondamental.

Alors que des physiciens indiens proposent de voir la continuité comme une propriété émergente du monde microphysique discret, on trouve chez les physiciens français la proposition inverse, de voir le caractère discret comme une propriété émergente.

L'enjeu continu/discret se situe beaucoup autour de la question du vide, et l'adhésion ou non à l'idée du vide par les physiciens. Penser le discret implique d'accepter de penser le vide. En synthétisant de manière très basique, les Français inclinent au plein, les Indiens au vide !

L'adhésion à un des pôles continu/discontinu est principalement basée sur des modes de représentation personnels, ils sont peu basés sur des arguments scientifiques.

Dans le cadre de « Bell », on observe une certaine ouverture, chez les Indiens plus particulièrement, pour l'idée d'un espace discontinu, qui leur permet de penser la non-séparabilité.

Avant de décrire plus en détail ces différents arguments, il est utile de rappeler l'évolution de la place des visions discrètes et continues de la matière dans la science moderne.

LES ENJEUX DU CONTINU/DISCONTINU

La dualité onde/corpuscule

Il y a, dans le cadre des interprétations de la théorie quantique, un paradoxe souvent qualifié de « dualité onde-corpuscule », qui concerne le caractère continu et discontinu de la matière. Dans certaines expériences, des particules de matière peuvent avoir un comportement ondulatoire et inversement. L'une des ces expériences, connue sous le nom de « la double fente », fut réalisée pour la première fois par Thomas Young en 1801. Celui-ci fit passer deux faisceaux de lumière issus d'une même source, par deux petits trous percés dans un plan opaque et observa les figures sur un écran derrière les fentes. Cette expérience conduisit à introduire l'idée d'onde lumineuse permettant de s'additionner (frange brillante) ou de s'annuler (frange sombre) comme des vagues à la surface de l'eau. Elle a permis de mettre à jour la nature ondulatoire de la lumière que l'on pensait alors corpusculaire. Plus récemment, cette expérience a été réalisée avec de la matière que l'on pensait corpusculaire, comme les électrons, neutrons, atomes, molécules, avec lesquels on observa aussi des interférences³⁸. Ces expériences montrent que la matière présente un comportement ondulatoire, mais la façon dont elle est détectée (impact sur un écran³⁹) montre son comportement particulaire, d'où le qualificatif de « dualité onde-corpuscule » (que l'on peut aussi qualifier de « ni onde, ni corpuscule »).

Cette dualité onde-corpuscule vient alimenter un débat bien plus ancien sur la continuité. La continuité de la matière, du temps ou bien de l'espace sont des questions *a priori* abstraites et conceptuelles, mais elles se traduisent par des images qui prennent corps, souvent inconsciemment dans l'esprit des physiciens. Ces images de la continuité ou du discret furent souvent, en physique, accolées à la notion de matière de manière changeante. Comme l'explique J-M. Levy-Leblond, pour la physique de l'âge classique, l'idée de matière est « essentiellement pensée comme composée d'éléments discrets et localisés, séparés par le vide, à l'instar d'un matériau granulaire comme le sable [...]. Locke, précisant l'idée de « qualités premières » considère qu'un corps physique doit nécessairement posséder « solidité, étendue, figure ». Descartes, pourtant [...] argumente pour une conception continue où la matière est nécessairement coextensive à l'espace. Il sera vite critiqué, non seulement du point de vue philosophique, mais sur le plan physique : sa conception répugnant au vide, et ne voulant voir la matière que sous les espèces et les espaces de pleins « tourbillonnaires », scientifiquement peu féconde, reste minoritaire et semble céder devant la conception corpusculaire qui s'imposera avec Newton » (Lévy-Leblond 2003 p619). Mais le triomphe d'une conception discontinuiste de la matière sera mis à l'épreuve dès la seconde moitié du XVII^e siècle, avec

38 Par exemple Hackermüller, Lucia; Stefan Uttenthaler; Klaus Hornberger; Elisabeth Reiger; Björn Brezger; Anton Zeilinger; Markus Arndt (2003). "The wave nature of biomolecules and fluorofullerenes". *Phys. Rev. Lett.* 91 (9): 090408

39 Ou à faible statistique où l'on n'obtient pas une figure d'interférences peu intense mais on observe des impacts disparates.

l'étude des gaz (Van Helmot, Boyle, Mariotte, etc.) ces fluides qui seront pensés comme une autre forme de matière. « Même si reste sous-jacent le projet d'une réduction ultime de ces fluides à leurs éléments corpusculaires, l'idée d'une matérialité continue n'en coexiste pas moins avec la conception atomistique : jamais le vide ne triomphera pleinement » (Lévy-Leblond 2003 p620). D'après M.Paty, « Au XVIII^e siècle déjà, un des auteurs de l'*Encyclopédie*, Guénault, faisait de l'étendue spatiale une notion liée aux corps «macroscopiques», dont le caractère continu (la «divisibilité à l'infini») s'estompait nécessairement à partir d'un certain nombre de divisions (Paty 2000 p211). Au XIX^e siècle se côtoieront des conceptions corpusculaires de la matière en termes de configurations d'atomes et continues, en termes des champs. La théorie de l'électromagnétisme de Maxwell est une théorie ondulatoire, et ses ondes comme ses champs possèdent un caractère continu. La physique quantique naîtra au XX^e siècle dans une considérable confusion épistémologique sur le sujet de la continuité de la matière, d'autant plus qu'elle présentait un caractère discret. La notion de quanta avancée par Planck et Einstein a donné une tout autre signification à la discontinuité de la matière. Elle marque l'irruption du discontinu là où on ne l'attendait pas. La principale découverte de la physique quantique en matière de discontinuité n'est pas le caractère discontinu de la matière ou de la lumière. L'idée atomique la contenait déjà. La discontinuité concerne non seulement la matière et la lumière, mais aussi l'énergie, les interactions et le mouvement. Planck découvrit que pour un rayonnement monochromatique de fréquence ν , les échanges d'énergie ne pouvaient avoir lieu que par multiples entiers d'une quantité minimale, un quantum d'énergie : $|\Delta E| = nh \nu$

où n est un nombre entier positif, et h une nouvelle constante universelle, appelée constante de Planck ou quantum d'action. Cette constante marque l'existence d'un échange minimum au-dessous duquel il n'y a plus d'interaction. L'énergie s'échange par bonds, comme si l'on ne pouvait faire avancer une voiture que de 10km/h en 10 km/h, et non de manière progressive.

En 1905, Einstein étend cette discontinuité au rayonnement lui-même : celui-ci est, d'après Einstein, formé d'un ensemble de corpuscules transportant chacun un quantum d'énergie. Il faut donc admettre l'idée que, de même qu'il y a des particules élémentaires de matière, il doit y avoir des particules élémentaires d'interaction. Et, des années plus tard, il a été constaté que les interactions fondamentales sont bien portées, véhiculées, transmises, par des particules élémentaires, les bosons.

L'aspect discret de la matière a également été mis en évidence par le modèle atomique de Bohr qui montra que les électrons ne peuvent prendre des états d'énergie que sur des valeurs discrètes. S'il n'en était pas ainsi, l'électron rayonnerait de l'énergie et finirait pas chuter sur le

noyau de l'atome. Mais comment un électron saute-t-il d'une orbite à l'autre ? N'y a-t-il donc rien entre les deux orbites ? Certains des physiciens du XX^e siècle ne pouvaient se satisfaire d'une telle discontinuité. Einstein, Schrödinger et de Broglie entre autres pour qui l'instrument fondamental était le continu, opposaient un désaccord farouche : « Curieuse physique, qui mise tout sur les états, et occulte les transitions » disait Schrödinger (1926) « Si tous ces damnés sauts quantiques devaient vraiment rester, je serai désolé d'avoir jamais été impliqué dans la théorie quantique ». (Jammer p57). En 1926, Schrödinger et Heisenberg proposaient des images du monde très différentes pour la même théorie :

- le premier considérait les phénomènes quantiques sous la forme d'ondes ;
- le second insistait sur le caractère discontinu des phénomènes et sur le concept de corpuscule.

Schrödinger énonça son équation d'ondes, et supposa que, puisqu'elle était ondulatoire et continue, il pouvait éliminer enfin la discontinuité des précédentes théories quantiques. Mais quand il rendit visite à Bohr à Copenhague, celui-ci lui ne voulut pas rendre les armes de la discontinuité, et poussa Schrödinger dans ses retranchements. L'historien Jammer écrivit au sujet des adhésions opposées d'Heisenberg et Schrodinger sur la continuité : « it was an algebraic approach which, proceeding from the observed discreteness of spectral lines, emphasized the element of discontinuity ; in spite of its renunciation of classical description in space and time it was ultimately the theory whose basic conception was the corpuscle. Schrodinger's, in contrast, was based on the familiar apparatus of differential equations, akin to the classical mechanics of fluids and suggestive of an easily visualizable representation; it was an analytical approach which, proceeding from a generalization of the classical laws of motion, stressed the element of continuity ». Les outils (algèbre ou équation différentiels) et les domaines de recherche privilégiés (mécanique des fluides, etc.) semblent influencer l'adhésion ou le rejet de la continuité, à moins que ce soit l'inverse...

Lorsque Max Born interpréta la fonction d'onde de manière probabiliste, on comprit comment la représentation continue de la mécanique ondulatoire de Schrödinger pouvait se marier avec la discrétisation des états quantiques : l'onde ne donnait que la probabilité de trouver les objets quantiques dans les différents états qui, eux, pouvaient être discrets.

De nos jours, les aspects continus et discrets (au niveau spatial, sans parler des niveaux d'énergie) trouvent chacun leur place dans la théorie : l'état d'un système physique peut être représenté par une fonction d'onde parfaitement continue (une particule libre possède un spectre d'états continu) alors que le résultat de certaines mesures ne peut pas prendre de valeurs de façon continue, mais seulement dans un ensemble discret.

Dans la théorie de Bohm qui est sans doute l'interprétation la plus continue, l'ontologie est représentée par des particules, prototypes mêmes d'entité discontinue, et si ces entités ont des spectres d'états continus, il existe des circonstances où elles ne peuvent qu'être observées dans des états discrets. Dans les théories GRW et MWI, les états possibles dans lesquels peut être trouvé un objet quantique sont les mêmes que dans la théorie standard, donc leur conception de la dualité onde/corpuscule est la même.

Depuis quelques années, il est possible de réaliser des expériences en émettant des photons ou des électrons un par un. Par exemple, Zeilinger et ses collègues ont émis et observés des photons un par un sur l'écran placé après les fentes dans l'expérience de la double fente (Nairz, Arndt, and Zeilinger 2003). On s'attendrait, dans la logique classique, à ce que certains photons passent par une fente et que d'autres passent par l'autre fente, donnant au final un motif comprenant 2 bandes. Mais ce qui s'affiche sur l'écran est une figure d'interférence comprenant plusieurs lignes. Ce motif comprenant plusieurs bandes est habituellement observé lorsqu'on projette un faisceau de lumière sur 2 fentes en même temps, car dans ce cas la lumière se comporte comme une onde, cela est bien plus troublant dans le cas de photons envoyés un par un. En effet, s'il s'agit d'une seule particule, elle ne peut passer que soit par une fente soit par l'autre, mais la figure d'interférence semble indiquer que tout se passe comme si elle était passée par les 2 fentes en même temps. On peut déterminer à partir du formalisme de la fonction d'onde pour chaque point de la plaque la probabilité que le quantum y soit détecté. Pour un grand nombre d'évènements, on peut démontrer que la distribution des probabilités suit la figure d'interférence. Autrement dit, le quantum passerait par les deux fentes à la fois, et interférerait avec lui-même. Cette expérience montre la nature ambiguë, discrète ou continue, des systèmes quantiques.

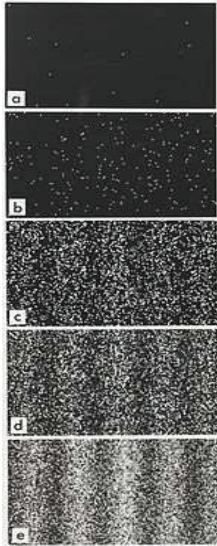


Figure 16 : Demonstration of single electron build up of an interference pattern

La figure montre les résultats d'une expérience à double-fentes avec des électrons uniques (A. Tonomura et al, *American Journal of Physics*, 57, 2, February 1989). On observe la construction d'une figure d'interférence. Chaque compartiment correspond à un nombre d'électrons envoyés : 11 (a), 200 (b), 6000 (c), 40000 (d), 140000 (e).

Ce petit rappel sur l'histoire de la notion de continuité en physique montre les possibilités épistémologiques autour de la continuité ou discontinuité de la matière. Nous constatons que le débat n'est pas clos. Historiquement les arguments en faveur de modèles discrets et continus n'ont cessé d'évoluer, et l'adhésion à l'un ou l'autre pôle de ce *thema* ne peut pas uniquement se fonder sur des arguments scientifiques, lesquels on va le voir, défendent tout aussi bien une approche que l'autre.

DIFFÉRENCES DANS LES ARGUMENTS ET REPRÉSENTATIONS DES PHYSICIENS INDIENS ET FRANÇAIS

Dans le cadre de la question sur le caractère discret ou continu des entités microphysiques, après quelques entretiens avec des physiciens qui m'ont demandé de préciser ce que j'entendais par « microphysique », j'ai ensuite précisé, avec leur aval, que « microphysique » était entendu par « sous le noyau de l'atome (10^{-9} m) ou sous le femtomètre (10^{-15} m) ». C'est à ce niveau d'échelle que les physiciens semblent observer que les lois quantiques s'appliquent. Des expériences ont montré que les lois quantiques s'appliquaient à des échelles plus proches (cf. note 39 : expériences au niveau moléculaire), selon l'interaction avec l'environnement. Mais les physiciens semblent converger autour de la frontière du noyau de l'atome pour situer le monde quantique (même si les lois quantiques peuvent exister à d'autres niveaux).

Quant au mot « continu », il a rarement posé problème en termes de compréhension. Aux rares physiciens qui m'ont demandé ce que j'entendais par continu ou discret, j'ai précisé que c'était au sujet du discontinu « spatial » que je les interrogeais. En tous cas, c'est d'une continuité spatiale dont il était question, et cela semblait clair pour l'ensemble des physiciens. Car le caractère discret peut aussi concerner la charge ou d'autres caractéristiques des particules.

UNE DUALITÉ D'APPARENCE

Beaucoup de physiciens interrogés sur le sujet du continu/discret commencent par évoquer la dualité, en fonction du contexte. « Il n'y a pas de problèmes, dit U.N, dans certaines expériences c'est une onde, dans d'autres un corpuscule ». Ils se réfèrent à l'expérience des fentes, qui montre le double aspect ondulatoire et corpusculaire. « It depends on what we study, with which instrument », dit K.S. On peut donc *a priori* classer leurs réponses dans : « continu et discret à la fois » (« les deux » dans le tableau). Mais si on leur demande « En l'absence d'instrument, comment est la matière, plutôt discrète ou continue ? », ils choisissent le plus souvent une réponse tranchée et c'est alors que la distinction entre Indiens et Français apparaît, les premiers optent pour le discret et les seconds davantage pour le continu. C'est ce qui explique que concernant la question sur les briques élémentaires, on ait très peu de « les deux ». Ainsi, la physicienne R.W estime au début que c'est duel : « at microscopic level, they are both waves and particles, so discrete and continuous » et finalement, elle se corrige : « forces are continuous, particles are discrete, it is not a problem ». Donc, elle opte pour l'aspect corpusculaire de la matière, mais pas des forces qui, pourtant comme on l'a vu, sont véhiculées par des quantas d'interaction. Il y a donc des choix personnels de représentation et d'adhésion thématique qui méritent d'être analysés.

Une attirance esthétique ou philosophique

Beaucoup de physiciens choisissent de voir le discret comme aspect fondamental, et le continu comme un cas particulier. « Everything has to be discrete, in my opinion there is no concept of continuum. A continuous structure is only a limiting case of discreteness » dit L.B. Certains expliquent ce choix par une forme d'attirance, typique des *themata*. Par exemple, K.L estime que c'est sans doute lié à son attirance pour le discontinu. Un autre physicien, L.L, se dit attiré par le discontinu, car c'est beau. Pour lui, ce n'est pas acceptable philosophiquement que la matière soit sécable à l'infini, c'est intenable, trop loin du sens commun, et c'est ce qui le pousse à opter pour la discontinuité. Il ne voit pas de quelle manière un électron dans un nuage différerait d'un électron dans une goutte d'eau si c'était un champ continu. Et où s'arrêterait-il ? demande-t-il. Il dit que même les scientifiques qui parlent de champs dessinent un point⁴⁰!

⁴⁰ « I don't think matter ends at one stage. If you look at history, the way we have been exploring nature, we always go... I guess it will go to kind of infinity. Even now when we talk about an electron, even the scientists who work on fields etc, he will draw a point. What's next ? Particle make more sens. We know it is a field, field is a very complicate thing. I don't think wave is fundamental such as particule, because we can find it everywhere. You throw a stone in water, there is wave. Wave is a concept which we have invented to quantify and describe things, rather than fundamental. When we say wave, we talk of something which looks like a macroscopic behavior. What tells you about an electron if you say it is a wave. There is nothnig fundamental in the wave itself. Even particle is a concept ! An intuitive concept but it has nothing to do with reality ».

Bien sûr ce n'est pas vrai, les scientifiques qui parlent de champs ne dessinent pas tous un point, mais il est courant que les personnes interviewées estiment que leur manière de voir est largement partagée, surtout quand il s'agit des *themata*. I.P estime que les particules sont discontinues parce qu'il les observe ainsi. Pendant l'entretien, il dessine un circuit expérimental électrique et explique qu'on mesure bien des écarts qui correspondent à des électrons individuels. Son interprétation de l'expérience semble liée à une vision discrète de la matière. Un autre physicien, J.T, énonce : « It is hard to imagine continuity : inside each point, another point, and so on, it continues. It is a sort of brainwashing. We don't need to contradict common sense with stupid ways of thinking ! ». Pour d'autres physiciens, français en particulier, ce qui est stupide, c'est de croire que c'est le monde microscopique qui est discret ! Le physicien français U.R s'exprime ainsi : « Je préfère une théorie continue. La théorie des champs classique par exemple, j'aimerais bien quelque chose de continu ». Alors que beaucoup de physiciens indiens proposent de voir la continuité comme une propriété émergente du monde microphysique discret, on trouve chez les physiciens français la proposition inverse, de voir le caractère discret comme une propriété émergente. Ainsi, J.N, doctorant français en cosmologie et physique des particules, voit les briques élémentaires de la matière comme des paquets d'ondes continues. « Un électron se déploie en tout point de l'univers, avec des pics qui se propagent. Quand on regarde de loin, on voit ça comme une particule ». J.I, qui travaille en physique de la matière condensée dit : « Pour moi, tout est continu partout. Parce que ça colle avec tout ce que je connais de la physique à très haute énergie. Cela veut dire qu'il y a quelque part une rupture dans les outils, dans les concepts. Je n'ai aucun fait qui permet de l'étayer. Je ne vois pas pourquoi je serais obligé d'introduire un changement brutal conceptuel puisqu'au-dessus tout est continu, donc en dessous aussi. Ce qui se passe en dessous est une continuité de ce qu'il se passe au-dessus ». Il ne prend pas conscience que d'autres pourraient aussi considérer qu' « au-dessus » (il sous entend, au niveau classique), tout est discontinu, comme nous l'avons vu pour certains physiciens indiens. Pour X.U, « C'est tentant de dire que la continuité est un phénomène émergent du monde macroscopique, dit-il, parce que ce que l'on dit habituellement, c'est qu'au niveau microscopique il y a des règles de quantification et au niveau macroscopique on a l'impression que tout est continu. [Mais pour moi], la quantification dérive de la contextualité, elle n'a rien à voir avec les structures intimes du monde, mais avec l'acte de connaître ». Pour lui, « les blocs élémentaires de la matière sont simplement des niveaux quantifiés d'excitation des champs ». Une vision donc plutôt continue de la matière dans l'espace, même si on peut supposer qu'il ne donne pas non plus à ces blocs d'existence indépendante de l'acte de connaître. L'étudiant U.N dit qu'il a du mal à envisager une particule

ponctuelle, elle lui paraît forcément étendue sans pour autant savoir si elle s'étend continûment, mais il a, avoue-t-il, une vision plutôt continue.

Pour Y.Z, l'énergie est quantifiée, elle prend des valeurs discrètes, mais pas la position, qui elle peut prendre n'importe quelle valeur dans un espace. C'est le cas aussi pour U.Y, qui estime qu' « il y a des propriétés qui sont discontinues par exemple les grandeurs physiques comme les charges électriques ou l'énergie, mais un champ quantique – qui est ce qui se rapproche le plus des constituants fondamentaux- a un domaine continu c'est-à-dire qu'il est défini en chaque point de l'espace ».

W.W estime quant à lui, comme certains des physiciens précédents, qu' « il y a des vibrations à la base de tout, qui deviennent des particules – corpuscules – quand ça interagit ». Il perçoit donc la matière comme continue au niveau micro et discontinue quand ça interagit. Le physicien des hautes énergies F.I dit : « J'ai dans ma tête la représentation physique, comment je me représente un proton, c'est quelque chose où il y a des entités discrètes, mais une mer de gluons qui lie tout ça, c'est quasiment du continu ». Pour le théoricien français, W.I, « Le mot de particule n'est pas très adéquat. Particule, cela a l'air de vouloir dire petite chose. La matière n'est pas faite de petites choses. En fait, ce qui est premier, ce ne sont pas les particules, mais les champs. C'est un point très important. Un concept de Gilbert Simondon peut être évoqué à cet égard, c'est celui d'individuation. Dans la théorie quantique, les champs peuvent s'individualiser sous la forme de particules ou sous la forme d'ondes ». L'attachement au continu est sous-jacent à son discours.

Par des arguments scientifiques

Il y aussi des physiciens qui s'appuient sur des arguments de type scientifique, ce qui peut faire douter d'une forme d'attachement purement philosophique ou affectif de type thématique. Mais comme il existe aussi des arguments scientifiques en faveur de la continuité, le fait de sélectionner un argument scientifique en faveur de l'un ou l'autre bord thématique (continu ou discontinu) relève en fait tout autant d'un choix personnel. Par exemple, certains physiciens indiens travaillant sur la théorie des cordes trouvent des arguments dans cette théorie en faveur du caractère discret de la matière sous le femtomètre, d'autres pour justifier du caractère continu ! U.J estime ainsi que « les cordes sont des lignes discrètes. Donc la matière est discrète ». Certains se réfèrent au modèle standard en physique des particules : K.S par exemple ou W.M disent que les particules élémentaires (quarks, gluons, baryons, etc.) existent et qu'on les repère individuellement. Elles sont donc limitées, pas étalées continûment donc discrètes. Pour ces physiciens, elles sont discontinues dans le sens où elles sont délimitées spatialement.

Les inégalités d'Heisenberg sont parfois utilisées pour argument sur le caractère discret du niveau microphysique. Pour T.L, il y a un espace inévitable entre les niveaux d'énergie ou les positions des particules à cause de cette inégalité $\Delta x \Delta p \geq h/2$ (p quantité de mouvement, x position, h constante de Planck).

Il prend l'analogie de la résolution d'une caméra : « One cannot measure distances smaller than a certain length. If the distance between two points on the space-time are smaller than this length, they will appear as a single point. It is like the resolution of a camera. This length comes from the uncertainty principle in quantum mechanics ». On ne peut connaître ce qui sépare deux objets, donc on les voit continus, alors qu'ils sont séparés. Le principe d'incertitude, attribué à Heisenberg, s'explique par le fait qu'en mécanique quantique, la valeur précise des paramètres physiques tels que la position ou la vitesse n'est pas déterminée tant qu'elle n'est pas mesurée. Seule la distribution statistique de ces valeurs est parfaitement déterminée à tout instant. Pour U.J, le fait de voir la matière continue ou discrète dépend de la valeur à laquelle on assimile la constante de Planck. Nulle ou pas. Pour lui qui travaille en théorie des cordes, elle n'est pas nulle, donc espace et temps sont discontinus. Il lui semble évident que non seulement la matière, mais également l'espace et le temps sont discontinus.

Afin d'expliquer certains aspects continus de la matière, on n'hésite pas à les considérer comme des propriétés émergentes. Pour A.J, par exemple, à très basse échelle, c'est discret sinon, vers 10^{-15} à partir de l'échelle des noyaux atomiques, c'est continu. La continuité est donc perçue comme une nouvelle propriété de la matière qui émerge à partir d'une certaine échelle, mais fondamentalement, le niveau premier de la matière est discret. L'astrophysicien français U.Z voit les choses dans l'ordre inverse : « Incontestablement il semble qu'il y ait du discret qui s'invite dans la partie dès lors que l'échelle diminue ». Pour lui, l'aspect premier est continu, et certains cas limites, à basse échelle présentent des aspects discrets. Comme quoi, tout est affaire de point de vue ! Concernant les briques élémentaires, les physiciens français ont davantage que les physiciens indiens à parler de champs que de particules. Le physicien français X.Z soutient l'idée du physicien Mac Laughlin, un physicien de la matière condensée, « qui a développé une théorie dans laquelle toute organisation apparemment particulière est simplement un niveau émergent de quelque chose de plus profond qui est un champ quantifié. Je peux dire ça à partir de mon expérience de physique de la matière condensée, des phonons, etc. Les blocs élémentaires sont simplement des niveaux quantifiés d'excitation des champs. [...] Il se manifeste des résonances dans l'excitation des champs que nous appelons des particules ». U.Y considère que « Les particules elles-mêmes, dit-il, sont des entités qui émergent, ce ne sont pas des entités fondamentales. Actuellement, ce qui ressemble le plus aux

constituants ultimes du monde physique c'est les champs quantiques. X.P remplace le mot « brique » par « constituants » élémentaires, qu'il voit comme « le centre de champs d'interaction ». Pour les physiciens indiens, c'est plutôt la vision inverse, les briques sont plus souvent considérées comme des particules.

Bell et la non-séparabilité quantique

Nous avons intégré dans ce *thema* continu/discontinu une question sur l'interprétation de la violation des inégalités de Bell. Pourquoi et de quoi s'agit-il ? Les inégalités de Bell concernent la non-séparabilité de particules intriquées, voire leur non-localité. Puisque la continuité et la discontinuité de la matière concernent son caractère étendu ou localisable, il est évident que cette question a à voir avec le concept d'espace. Nous pouvons constater que certains physiciens insistent pour garder une séparation entre particules intriquées, d'autres pour établir une continuité entre elles. La localité semble, pour les physiciens interrogés, correspondre à une vision discontinue de la matière et la non-séparabilité à une vision continue. Nous devons cependant tempérer cette correspondance du fait que nous constatons, surtout chez les physiciens français, que les termes « local » et « séparable » sont flous, et mériteraient d'être clarifiés auprès des physiciens ! Ainsi, avec cette question qui concerne l'interprétation de la violation des inégalités de Bell, il a été nécessaire de valider avec chaque physicien ce qu'il entendait par ces termes.

Commençons par décrire le paradoxe de non-localité – autrement appelé paradoxe EPR (en référence aux physiciens Einstein, Podolsky et Rosen). Nous l'explicitons plus en détail en annexe 6, en développant notamment les différentes postures possibles. Einstein, en 1935, et ses deux collaborateurs, Podolsky et Rosen, perturbés par l'interprétation de Copenhague sur la mécanique quantique, révèlent un nouveau paradoxe, étroitement lié au problème de la mesure. Ils imaginent une situation dans laquelle deux particules, appelons-les A et B, sont préparées de telle sorte qu'elles soient intriquées⁴¹. C'est-à-dire que, connaissant l'état quantique du système global (A + B), on peut déterminer la valeur d'une propriété – par exemple le spin, la position ou la quantité de mouvement -de B en faisant une mesure sur la propriété de A – ou réciproquement. Connaissant par exemple le spin de A, on peut ainsi déduire grâce au vecteur d'état initial le spin de B. On peut donc déterminer le spin de B sans même le perturber. Se pose

⁴¹ L'intrication quantique est un phénomène observé en mécanique quantique dans lequel l'état quantique de deux objets doit être décrit globalement, sans pouvoir séparer un objet de l'autre, bien qu'ils puissent être spatialement séparés. Lorsque deux systèmes – ou plus – sont placés dans un état intriqué, il y a des corrélations entre les propriétés physiques observées des deux systèmes qui ne seraient pas présentes si l'on pouvait attribuer des propriétés individuelles à chacun des deux objets.

alors la question : est-ce le fait de mesurer le spin de A qui détermine, à distance, le spin de B, ou est-ce que la valeur du spin de B existait avant que l'on n'exécute la mesure sur A ? Autrement dit, la mesure du spin de A ne fait-elle que révéler un état de fait concernant B déjà existant avant cette mesure, ou bien est-ce que cette mesure contribue à créer cet état de fait ?

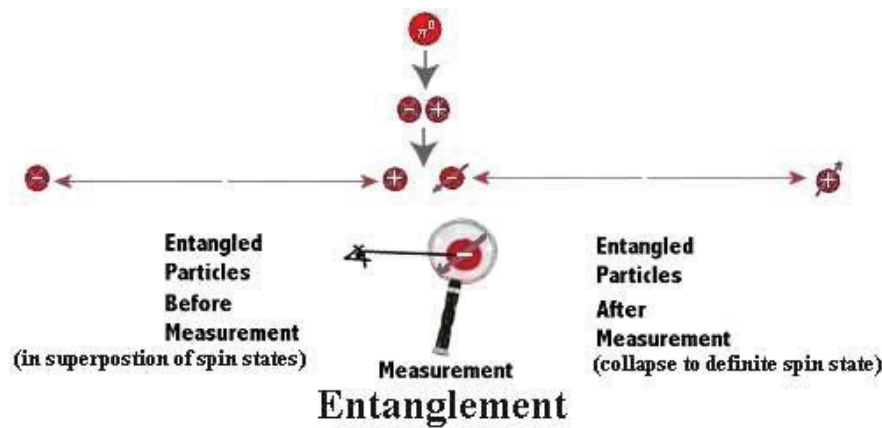


Figure 17 : Schéma représentant l'expérience de pensée d'EPR (extrait de <https://quantumweird.wordpress.com/category/epr-pairs/> le 15/05/14)

Une particule décrite par une seule fonction d'onde se désintègre par exemple en deux particules, ce que fait un méson pi qui produit deux photons (- et + sur ce schéma, et la flèche représente l'orientation du spin de la particule). A priori, des mesures sur l'un ne peuvent influencer sur l'état de l'autre lorsqu'une grande distance les sépare. La mécanique quantique réfute cette conclusion. Source : <http://universe-review.ca>.

Le paradoxe EPR peut s'expliquer comme suit. Les trois propositions suivantes ne peuvent pas être simultanément vraies :

- **Hypothèse de complétude** : la description d'un objet par sa fonction d'onde (ou son vecteur d'état) est une description complète de l'objet, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de données supplémentaires, couramment appelées « variables cachées », qui permettraient de spécifier davantage les propriétés d'un objet quantique.
- **Critère de réalité** : «Si, sans perturber en aucune façon un système physique nous pouvons prévoir avec certitude la valeur d'une quantité physique, alors il existe un élément de la réalité physique qui correspond à cette quantité. »
- **Hypothèse de localité** : Si deux régions de l'espace-temps sont séparées d'une façon à ce qu'aucun signal lumineux ne puisse les relier, alors la situation de fait dans une de ces régions ne peut pas dépendre de ce qui est

fait dans l'autre région (la situation de la particule B ne peut pas dépendre de ce qui est fait sur A).

Voici ce que les physiciens entendent par « localité » : toutes les causes (et leurs effets) sont locales, ce qui signifie qu'elles se propagent dans l'espace avec une vitesse finie dans un temps fini. En d'autres mots, l'action instantanée à distance est impossible. C'est d'ailleurs le même Einstein qui a montré que les objets matériels obéissent à une vitesse limite, celle de la lumière de 300 000 km/s. Pour franchir une certaine distance, il faut un certain temps.

En 1964, Bell entreprenait un travail théorique qui fut décisif dans la clarification du problème. Il démontra un théorème qui établit que les corrélations par cause commune ou plus généralement par des variables cachées qui respectaient le principe de localité devaient toujours respecter certaines inégalités statistiques (les inégalités de Bell). Et il montra que dans certaines situations, les prédictions de la mécanique quantique violaient systématiquement ces inégalités. Voici une expérience : deux particules sont émises de manière à ce qu'une relation de conservation existe entre une de leurs propriétés, par exemple, la somme de leurs spins doit être nulle. On dit qu'ils sont corrélés. Il peut s'agir de deux électrons, émis à partir d'une même source par exemple. D'un point de vue purement expérimental, on constate, des corrélations entre les résultats des mesures faites sur les deux électrons. Si l'on mesure le spin de l'un, l'autre affichera toujours un spin dans le sens opposé. Ces expériences ont été réalisées par des équipes telles celles d'Aspect, Dalibard, Grangier et Roger en 1982 (distance entre polariseurs 15 m, violation des inégalités de Bell 6 écarts types) ou celle de Zeilinger, Weinfürter et leurs collègues en 1998 (distance entre polariseurs 400 m, violation des inégalités 30 écarts type), et une dizaine d'autres avant eux (Harvey 1981), mais seuls ces deux derniers se sont occupés du critère temporel (mesure instantanée).

Comment les électrons de notre expérience « s'influencent-ils » instantanément à distance ?

Si nous reprenons nos 3 hypothèses, il ne reste maintenant que ces options.

Soit on abandonne le critère de réalité.

Soit on a des variables cachées non locales ;

Soit on n'a ni variables cachées ni non-réalité. S'agit-il de non-localité ?

Reprenons ces 3 options.

Concernant le critère de réalité, on peut choisir de s'en tenir à une approche phénoméniste. L'approche française en philosophie des sciences semble proche de cette option puisque des auteurs –physiciens et philosophes des sciences- français qui

s'intéressent aux fondements de la mécanique quantique tendent souvent à soutenir une position qui ne va pas dans le sens du réalisme. C'est très clairement le cas avec Michel Bitbol. Bernard D'Espagnat est plus nuancé, mais le réalisme qu'il soutient est très modéré. D'autres auteurs soutiennent une position réaliste, mais ils butent face au problème de la mesure.

Concernant les variables cachées non locales, l'interprétation qui a choisi cette voie est celle de David Bohm, ou théorie de l'onde pilote.

Dans l'acceptation de la réalité et le rejet des variables cachées, que reste-t-il comme possibilité ? Une possibilité est d'accepter qu'il existe une action à distance instantanée. Depuis la théorie de la relativité, il est impératif qu'une interaction physique ne puisse se propager plus rapidement que la lumière, autrement dit : pas instantanément. Les intrications quantiques violent-elles la relativité et transmettent-elles de l'information plus rapidement que la lumière ? Il a été montré que la violation de la localité en mécanique quantique ne remettrait pas en cause l'impossibilité de transmettre des informations exploitables plus rapidement que la lumière. Donc, ceux qui optent pour cette réponse doivent contrer cette preuve. Il existe en fait un autre type de réponse. La mécanique quantique peut rester pleinement compatible avec l'impossibilité de transmettre des informations exploitables plus rapidement que la lumière. En revanche, ce résultat met en cause un principe qui a toujours été plus ou moins connecté avec le principe de localité, qui est le principe de séparabilité, selon lequel on peut toujours diviser par la pensée un système physique selon ces constituants élémentaires. Lorsque l'on a affaire à des paires de particules intriquées, celles-ci doivent être vues comme formant un tout qu'on ne peut séparer qu'au moment d'une mesure effectuée sur l'une d'entre elles.

LES BESOINS D'UNE LOCALITÉ PRÉSERVÉE

Une majorité de physiciens indiens se prononcent en faveur du maintien d'une forme de localité – prise dans le sens de « non-action à distance ». Nous pouvons constater qu'ils n'expliquent pas les raisons qui les poussent à opter pour le maintien de la localité, mais plutôt les arguments ou les moyens qui permettraient de conserver la localité. S'ils n'ont pas de raisons, c'est parce que les expériences et les fondements théoriques semblent aller contre cette idée. Leurs réponses relèvent davantage d'un besoin « I think there is something we should understand to maintain the locality » (L.B.), « Locality should be preserved in some way » (J.O). L'usage du mot "should" renvoie à une forme de nécessité. La localité leur est nécessaire.

Une autre partie des physiciens indiens accepte le paradoxe sans chercher à l'interpréter. R.K s'exprime ainsi : « I guess this is the nature of quantum mechanics. And quantum mechanics works. And I believe I have to accept non locality ». Le doctorant J.L estime qu'il n'y a pas de problème, pas d'interprétation, ce qui compte c'est que le résultat fonctionne. La physicienne R.W estime qu'elle doit accepter le paradoxe même si elle ne comprend pas : « I know some experiments like Aspects's are really proving it, but I don't understand. I have to accept it. That is the way it is ».

La majorité des physiciens interrogés ne sont pas des spécialistes des fondements de la mécanique quantique, et ils ont tendance à penser que, si eux ne comprennent pas le paradoxe, il doit bien y avoir des gens compétents sur le sujet, qui eux, comprennent. Donc, beaucoup acceptent le paradoxe, simplement, comme quelque chose de constitutif du monde quantique. « EPR paradox is not only a paradox I would say but it is a very essential feature of quantum mechanics » dit W.M. « There is some phenomena we don't understand, although the knowledge we have is complete », estime L.K.

Ceux qui cherchent à pousser plus loin le paradoxe se rallient à une forme ou un autre de rejet. Très peu de physiciens remettent en cause la réalité ou la relativité. Seuls deux physiciens, un Indien et une Française considèrent qu'il n'y a pas une vitesse limite de la lumière : pour U.R la limite imposée dans notre univers est dépendante de la quantité de matière qui empêche de dépasser une certaine propagation (gravité). Ce physicien explique qu'il tente de faire lui-même une expérience inspirée de celle de Michelson-Morlay, qui reprend la notion d'éther, inspiré de l'effet Sagnac découvert en 1913. La physicienne H.I, qui est astrophysicienne, a témoigné qu'elle estimait possible que quelque chose se produise plus vite que la lumière.

La plupart des physiciens optent pour l'option 3 parmi celles que nous avons estimées possibles ci-dessus. Cette option 3 est le maintien de la localité, mais avec une non-séparabilité. Qu'est-ce qui distingue la « séparabilité » de la « localité » ? Il est courant de penser que deux objets éloignés sont séparés, et que deux objets situés sur le même espace ne le sont pas. Alors que manifestement, les deux possibilités existent : deux objets peuvent occuper la même portion d'espace et, cependant, rester distincts. Deux objets peuvent être séparés localement et cependant être une même entité, comme cela semble être le cas en mécanique quantique. Comme l'explique Franck Laloe dans son ouvrage sur la théorie quantique « même lorsque deux régions de l'espace sont distinctes et très éloignées l'une de l'autre, on ne peut pas toujours attribuer des propriétés physiques séparées à ce qu'elles contiennent. La non-séparabilité quantique prend ses racines dans la façon dont le formalisme quantique décrit des systèmes et

des sous-systèmes [...] L'intrication restreint fortement le nombre de propriétés physiques qui peuvent être attribuées à des sous-systèmes et annule parfois ce nombre. En d'autres termes, la meilleure description possible (avec un vecteur d'état) n'est pas accessible aux sous-systèmes ; ils sont affectés d'un niveau supplémentaire d'indétermination, ce qui ne se produit jamais en mécanique classique » (Laloe 2011 p77). Le doctorant U.X estime que, quand les deux particules sont intriquées, « il ne s'agit que d'un ensemble ». C'est ce qui explique qu'elles n'aient pas besoin de s'échanger de l'information. Elles sont une seule et même chose. « They don't have to give the information. It's their own thing », dit la physicienne K.X. Les physiciens indiens font assez souvent, dans leurs réponses, la distinction entre séparabilité et localité, ce qui leur permet de conserver la localité, au détriment de la séparabilité. En faisant ainsi, ils distinguent bien les propriétés de la matière de celles de l'espace. Ils peuvent ainsi conserver une vision discrète de la matière tout en respectant l'implication des inégalités de Bell.

On voit clairement qu'autour de ce paradoxe lié à la localité, le concept d'espace est réinterrogé. « Il faut, dit J.H, considérer les deux particules comme intriquées (*entengled*), comme un tout. Même l'espace entre elles ne les sépare pas ». Mais qu'est-ce qu'un espace, qui ne sépare pas ? Ainsi, l'espace change de fonction, il n'est plus uniquement « ce qui sépare ». Le physicien W.M évoque la possibilité d'un trou de verre, qui crée un raccourci dans l'espace temps. Tirons quelques informations d'une autre question posée lors des entretiens longs : « L'espace est-il discret ou continu ? » En effet, si l'espace est discret, avec du vide donc entre les différents points d'espace, il est possible d'imaginer plus facilement ce raccourci hypothétique. Les réponses à cette question dépendent du degré d'information des nouvelles théories qui s'appuient sur une discontinuité de l'espace sous l'échelle de Planck. Pour R.K, l'espace est discontinu, mais il faut savoir qu'il a assisté à des lectures de collègues en gravité quantique, au TIFR, est pas mal au courant des recherches de ses collègues sur ce sujet. C'est loin d'être le cas de tous les physiciens. Généralement, ils sont prêts à accepter l'idée d'un espace discret, quand ils connaissent ces nouvelles théories. Ils divisent alors le monde en deux parties : sous l'échelle de Planck, où l'espace est discret, et au-dessus où il est continu. J.L « estime que l'espace est continu au moins jusqu'à la mesure de notre connaissance actuelle, c'est-à-dire la constante de Planck. » Pour U.J, la continuité de l'espace dépend de la valeur de la constante de Planck, pour lui, dans son domaine (théorie des cordes), elle vaut 1, donc espace et temps sont discontinus. Pour un de ses collègues en matière condensée L.X, elle vaut 0, donc l'espace et le temps sont continus. A.J et W.M estiment aussi que l'espace est discret sous l'échelle de Planck, continu au-delà. D'après W.M, cette caractéristique de la continuité de l'espace serait une propriété émergente.

Chez les physiciens français, on trouve un besoin de préserver la localité. « La localité doit être préservée d'une certaine façon », dit X.U. Cette localité signifie parfois le respect de la limite de la vitesse de la lumière. Mais ce besoin est moins nettement exprimé que chez les physiciens indiens. Sans doute parce que le mot « localité » ne renvoie pas nécessairement à l'idée d'action instantanée à distance, et qu'il peut vouloir dire autre chose, comme nous l'avons vu. Mais sans doute aussi, parce que pour eux, la vision d'une continuité de la matière est, comme nous l'avons vu, plus courante. La physicienne H.I dit par exemple : « Je ne comprends pas la question de la localité, qu'est-ce que l'espace ? » Le paradoxe renvoie l'image de particules étendues, qui ne peuvent plus être considérées comme localisées. L'étudiante O.X parle d' « objet avec des chances plus ou moins développées d'être présent ». Un autre étudiant, A.S, est troublé par cette image : « comment un photon peut-il être infini et de taille réduite ? »

Pour X.U, il faut arrêter de parler des particules séparément. Dans la théorie des champs, explique-t-il, « chaque particule n'a pas « sa » fonction d'onde. Elle n'a pas d'individualité. Il faut parler de matrice densité et non de fonction d'onde ». Le doctorant E.T partage cette idée. Il estime qu'il faudrait apprendre la mécanique quantique avec la matrice densité. « Dans mes cours, explique-t-il, je présente la fonction d'onde parce que c'est plus simple pour des jeunes étudiants. Présenter directement la matrice densité serait trop difficile pour eux ».

Peu de physiciens français s'attaquent au concept d'espace. X.Z estime que la séparabilité n'a rien à voir avec l'espace, mais avec les propriétés mathématiques internes de la mécanique quantique, c'est-à-dire sa structure pluri-systémique : « vous avez des grands vecteurs d'état qui peuvent décrire un système de plusieurs particules. Cela ne dit rien sur l'espace. C'est le point crucial. L'espace c'est quelque chose qu'on surajoute par-dessus ». Assez peu de physiciens français ont évoqué la discontinuité possible de l'espace comme reliée à EPR. « À certaines faibles dimensions, fait remarquer W.W, on se rend compte qu'il y a des complications mathématiques, qui nécessitent une distance minimale. Il s'agit peut-être de non-localité ».

IV.D. *THEMA* SUBJECTIVITÉ/OBJECTIVITÉ

Afin de déterminer si le pays et la culture d'origine des physiciens influencent l'adhésion au *thema* objectivité/subjectivité, nous leur avons posé quatre questions pendant les entretiens, et pour certains nous avons aussi exploré leurs publications pour compléter leurs réponses au besoin.

Question « avant la mesure »

Les objets physiques ont-ils leur propriété (position, vitesse, etc.) définie indépendamment de, et avant la mesure ?

L'état des particules avant la mesure est-il défini ? Comme nous allons le voir, cette question dévoile les représentations au sujet du rôle de l'observateur. En effet, si l'état est déjà défini avant la mesure, l'observateur ne joue pas de rôle fondamental, il peut changer l'état, mais ce n'est pas lui qui « crée » un état. Si l'état du système, par contre, est indéfini avant la mesure, cette dernière donne un rôle essentiel à l'observateur. La subjectivité est bien plus importante dans cette représentation. La plupart des physiciens estiment, dans leurs réponses, que lors de la mesure, l'interaction avec un objet macro induit la perte de superposition des états. Mais cela peut être valable pour n'importe quel objet macro, pas spécifiquement l'observateur. Si l'état est déjà défini avant la mesure, alors l'observateur ne joue pas de rôle précis, sauf peut-être celui de changer l'état du système. Notons que cette question sur l'état du système avant la mesure est aussi reliée à un autre *thema* : déterministe/aléatoire. Donc, la réponse apportée par les physiciens à cette question ne tient pas uniquement à leur représentation du rôle de l'observateur, mais aussi à la profondeur de leur adhésion au déterminisme. Il est difficile de départager ce qui, de l'objectivité ou du déterminisme influence le plus leur réponse, nous allons donc devoir analyser leurs réponses au cas par cas.

Question « conscience »

À propos de la conscience (impression d'un "Je" qui existe) : émerge-t-elle de la matière ou bien est la matière qui émerge de la conscience ?

Grâce à l'analyse des discours, nous avons pu constater que, bien souvent, ceux qui accordent une immatérialité à la conscience donnent un statut spécifique à l'observateur dans la mesure quantique.

Nous allons voir ci-dessous en quoi, les réponses en faveur de la matérialité de la conscience s'associent le plus souvent à une posture objective.

Question « observateur »

Quel est le rôle de l'observateur dans l'effondrement de la fonction d'onde ?

Cette question est très ouverte, et nous ne pouvons pas vraiment établir un classement statistique des réponses, car elles se révèlent trop diverses. Nous utiliserons cependant les réponses dans l'analyse des discours au cas par cas.

Question « scientificité »

Quel est le principal critère de scientificité ?

Certains scientifiques mettent l'objectivité comme critère principal de la science. Mais pour certains, l'objectivité signifie « neutralité ». Donc, ici aussi, les réponses sont trop diverses pour être intégrées dans l'analyse statistique du *thema*, mais nous les utilisons dans l'analyse des discours au cas par cas.

Voici la répartition statistique des réponses sur lesquelles une répartition est possible :

| Question | Conscience | | | Avant la mesure | |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-----------------|--------|
| | Matérielle | Immatérielle | Ne sait pas | Superposé | Défini |
| Physiciens français | 59% | 25% | 16% | 68% | 32% |
| Physiciens indiens | 44% | 56% | 0% | 77% | 23% |

Tableau 11 : Répartition des réponses aux différentes questions du *thema*.

Explication : La réponse « superposé » inclut ceux qui pensent que quelques propriétés intrinsèques comme la charge sont définies, tandis que d'autres sont superposées.

Degré d'affinité - *thema* subjectivité/objectivité

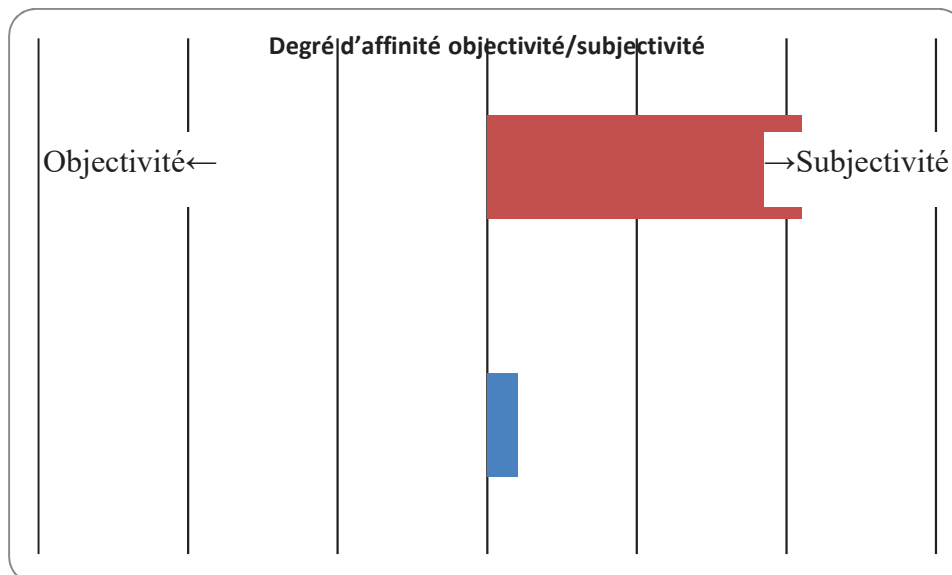


Figure 18 : Degré d'affinité au sein du *thema* subjectivité/objectivité.

Explications du graphique : Ce coefficient rend compte de la vision des physiciens concernant la prise en compte du sujet observateur : plus ce coefficient est proche de 1, plus les physiciens sont subjectifs (le rôle de l'observateur et/ou de sa conscience est important). Son calcul est basé sur les réponses aux questions : « avant la mesure » [état défini -1, état superposé 1], « conscience » [matérielle 1 immatérielle -1]. Nous

pouvons observer que les physiciens indiens ont une vision un peu plus subjective, dans laquelle le rôle de l'observateur et/ou de sa conscience est plus significatif. Dans l'ensemble les physiciens ont une vision assez peu objective (dans le sens fort) de la science. L'observateur joue un rôle, même s'il est faible.

| | Physiciens français | Physiciens indiens |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| Degré d'objectivité | 0,04 | 0,42 |

DIFFÉRENTS DEGRÉS D'OBJECTIVITÉ

Nous nous inspirons du philosophe et physicien Bernard D'Espagnat (1994) dans la définition des différents degrés d'objectivité. Pour lui, « fortement objectif » signifie que les propriétés d'un système peuvent être définies même en l'absence d'un observateur, comme par exemple l'existence de la lune qui ne dépend pas du promeneur nocturne. « Faiblement objectif » signifie que les propriétés d'un système ne peuvent être établies qu'en fonction de l'observation qui en est faite, l'objectivité résidant dans le fait que ces propriétés seront les mêmes pour n'importe quel observateur. Nous nous accordons par exemple entre êtres humains pour dire qu'un objet est rouge, bien que la couleur ne réside pas dans l'objet lui-même, mais dans la relation que nous entretenons avec lui. De la même manière, selon cette façon de comprendre la mécanique quantique, la position d'un objet n'est pas une propriété intrinsèque de celui-ci, mais simplement la relation que cet objet entretiendrait avec n'importe quel observateur présent. Et nous rajoutons « subjectif », qui signifie que les propriétés d'un système ne peuvent être établies que relativement à un observateur, et qu'elle diffère en fonction des observateur. Résumons donc, les propriétés ne peuvent être établies (la vérité existe)

fortement objectif : sans nécessité d'un observateur

faiblement objectif : quel que soit l'observateur

subjectif : du point de vue d'un observateur.

À travers l'analyse précise du discours des physiciens aux 5 questions présentées ci-dessus, nous avons pu les classer dans les différentes cases de l'objectivité. Nous n'avons pas traité le cas de tous les physiciens interrogés, certains n'ont pas des réponses suffisamment fournies. Sur les cas traités (20 Indiens, 25 Français), nous obtenons la répartition suivante :

| | Subjectivité | Objectivité faible | Objectivité forte |
|--------------------|--------------|--------------------|-------------------|
| Physiciens indiens | 47,5% | 27,5% | 25% |

| | | | |
|---------------------|----|-----|-----|
| Physiciens français | 4% | 64% | 32% |
|---------------------|----|-----|-----|

Tableau 12 : Répartition des physiciens en fonction de leur degré d'objectivité.

Explication : Ce tableau, plus précis que le tableau de degré d'affinité thématique, vient utilement le compléter. Nous pouvons voir qu'il confirme une tendance plus forte des physiciens indiens en faveur de la subjectivité.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Nous constatons donc que

- Plus de physiciens indiens accordent un rôle à l'observateur, ils se situent principalement du côté de l'objectivité faible et de la subjectivité.
- Les physiciens français se situent du côté de l'objectivité faible en majorité, voire de l'objectivité forte.
- Les physiciens français sont plus nombreux que les Indiens à adopter une attitude matérialiste au sujet de la conscience, et aussi plus nettement partagés quant à l'état du système avant la mesure.
- Ceux qui adoptent une posture non-matérialiste pour la conscience ont tendance à donner de l'importance à l'observateur sur l'état du système, bien souvent, pour eux, l'état n'est pas déterminé avant la mesure.
- Très peu estiment que c'est la conscience qui « provoque » l'état du système.

Avant de donner des exemples illustratifs des arguments des physiciens, nous devons décrire la manière dont le rôle de l'observateur a évolué dans la physique moderne, afin de mieux comprendre la valeur de ces arguments.

Évolution du rôle de l'observateur en physique

Le rôle de l'observateur en mécanique quantique a donné lieu à quelques interprétations mettant au centre la conscience de l'observateur dans la mesure. Il s'agit d'interprétations marginales, mais parmi les plus connues du grand public.

Dans la physique classique, la connaissance du monde matériel est supposée se faire indépendamment de l'observateur. C'est d'ailleurs un des principes qui fut explicitement énoncé par Descartes au 16^e siècle avec la séparation entre le sujet connaissant (*res cogitans*) et le monde physique (*res extensa*). Il s'agit de séparer l'observateur de son observation, afin que celle-ci soit valable pour tout expérimentateur, et qu'elle conduise à des lois universelles. C'est ce que nous appellerons ici « l'objectivité ». Dans la physique classique, on a bien la notion d'observateur, mais celui-ci n'a aucun statut particulier et les théories ne sont pas

obligées de se référer à lui. Par exemple, Laplace développe au 19^e siècle une théorie de la formation du système solaire, qui se réfère à une époque où il n'y avait encore aucun observateur humain. Si l'on accepte que l'objet et le sujet soient considérés comme séparés et séparables en physique, pourquoi le principe d'objectivité, dans sa forme classique, serait remis en cause, ou du moins actualisé, par la mécanique quantique ?

On a vu que, selon l'interprétation orthodoxe (ou de Copenhague) de la théorie quantique, la mesure perturbait de manière fondamentale l'évolution temporelle du système. Cette interprétation orthodoxe estime, qu'avant la mesure, le système (les particules) sont dans un état superposé, donc que ses propriétés sont indéfinies, et que la mesure vient projeter le système : les propriétés prennent une valeur propre. Qu'est-ce qui provoque la réduction du paquet d'onde (c'est-à-dire la projection du vecteur d'état du système) lors de la mesure ? Historiquement, c'est une question qui a fait appel à des positionnements divers.

Nous avons évoqué plus haut les expériences des fentes d'Young élaborées avec des photons ou des électrons. Nous avons parlé de la figure d'interférence obtenue sur les plaques. L'interprétation quantique de l'expérience repose sur le fait qu'un photon individuel se retrouve dans un état superposé à la suite du franchissement des fentes. On peut interpréter ce fait en disant que le photon est passé par les deux fentes en même temps. Mais que se passe-t-il si on cherche à détecter par quelle fente le photon « est réellement passé » ? Lors de l'expérience de Fabroni évoquée plus haut, on détecte bien que le photon passe soit dans la fente de droite, soit dans la fente de gauche, mais alors la figure d'interférence disparaît : le photon n'est plus dans un état superposé à cause de l'interaction avec un autre photon en vue d'une mesure (qu'on détecte le photon ou non). L'interaction du photon avec un autre photon, au niveau de l'une des fentes, provoque un « effondrement de la fonction d'onde » et de l'état superposé. Il n'existe aucun moyen de savoir de quel côté le quantum est passé sans éliminer le phénomène d'interférence. Cette expérience permet de mettre en évidence le problème de l'observation en mécanique quantique.

À partir des années 1920, s'est imposée, autour de personnalités comme Bohr et Heisenberg⁴², l'idée que l'on ne pouvait pas passer sous silence le rôle fondamental du sujet en mécanique quantique. Heisenberg, par exemple, ira jusqu'à prétendre qu'au moment de la mesure « l'observateur *lui-même* fait le choix, parce que ce n'est qu'au moment où l'observation est

⁴² Heisenberg tenait une position relativement proche du positivisme dans le sens où il s'intéressait à ce qui est accessible par l'expérience - les phénomènes - et estimait que la mécanique quantique n'est pas censée décrire la réalité.

faite que le « choix » est devenu une réalité physique» (Heisenberg, conseil Solvey, 1927). Selon lui, c'est l'observation qui crée le fait que les propriétés du système quantique deviennent définies. Il parle de la projection de la fonction d'onde comme étant induite par l'observateur. Pour Bohr, les propriétés d'un système dépendent de manière fondamentale des conditions expérimentales, y compris des conditions de mesure. Ainsi, on ne peut pas parler de la position d'un système quantique de façon générale : les caractéristiques des objets sont soumises au contexte et au sujet qui mesure. Optant pour un point de vue différent, Schrödinger parlait d'une action mutuelle entre le sujet et l'objet lors d'une mesure quantique, « à condition de bien préciser ce qu'on entend par sujets dans ce cas : rien d'autre qu'un fragment du monde matériel pouvant inclure le corps de l'expérimentateur » (Schrödinger 1930, Bitbol 1992). Pour le physicien Richard Feynman, toute réalité -incluant l'esprit et la conscience- est faite d'atomes (Feynman 1970). C'est une forme de physicalisme, dans lequel chaque phénomène a une origine matérielle à laquelle il peut être relié et où toute subjectivité, toute forme de conscience est un produit, un corrélat, ou une instanciation d'un processus physique. Les observateurs sont alors des systèmes physiques comme les autres, auxquels, au moins en droit, doivent pouvoir s'appliquer les principes physiques les plus fondamentaux. Le problème est alors de comprendre pourquoi il semble si difficile d'énoncer les lois de la mécanique quantique sans faire référence, au moins implicitement, à un observateur. Commentant la théorie de la mesure de Von Neumann, Edmond Bauer et Fritz London estiment que c'est la faculté d'introspection de l'observateur qui est à l'origine, de la réduction de la fonction d'onde (London et Bauer 1939). Le rôle de la conscience dans le processus de mesure va être défendu encore plus explicitement au début des années 60 par le prix Nobel de physique Eugène Wigner. Ce dernier regarda la conscience comme un élément de l'esprit, et ainsi l'esprit « collapsant » la fonction d'onde devint un exemple de l'emprise de l'esprit sur la matière, le monde de l'esprit agissant sur le monde de la matière. Il considère que la conscience est, d'une manière drastique, complètement irréductible à des processus physiques. Wigner changea de point de vue quelques années plus tard. Pour Roger Penrose, célèbre physicien et mathématicien britannique, ce sont des processus quantiques et notamment le processus de réduction du paquet d'onde qui entrent en jeu dans le phénomène de la conscience (Penrose 1994) . Il existe des postures plus radicales encore au sujet de l'observateur. Le physicien Amit Goswami, d'origine indienne, mais vivant aux États-Unis, a écrit plusieurs ouvrages de vulgarisation sur la théorie quantique. Pour lui, la conscience agit sur la matière, et donc a la possibilité de faire s'effondrer la fonction d'onde. Il explique que la conscience est antérieure à la matière et qu'elle est disponible même au sein de la matière dans des formes plus ou moins densifiées (Goswami 2014). Cette position radicale

est loin d'être partagée par beaucoup de physiciens, comme nous l'avons remarqué dans nos entretiens, mais il existe des positions intermédiaires.

ANALYSE DES DISCOURS

Pour tenter de comprendre et situer les physiciens dans leur degré d'objectivité, nous allons donc nous baser sur les réponses apportées aux questions évoquées ci-dessus : rôle de l'observateur dans l'effondrement de la fonction d'onde, matérialité de la conscience, état du système avant la mesure et niveau de réalité connaissable. Nous allons traiter ces quatre réponses pour chaque physicien, ce qui va représenter une analyse conséquente et complexe. La suite de l'analyse aura pour but de vérifier cette relation et de classer les physiciens en fonction de leur degré d'objectivité. Nous allons essayer, quand c'est possible, de les classer sur l'échelle définie ainsi :

Cas 1. Fortement objectif : l'observateur est un objet physique comme les autres, et ne joue pas de rôle particulier.

Cas 2. Faiblement objectif : L'observateur physique joue un rôle spécifique dans l'application du formalisme

Cas 3. Subjectif : L'observateur joue un rôle distinct, pas seulement l'observateur physique.

CINQ ATTITUDES - CINQ PHYSICIENS EN GUISE D'EXEMPLE

Nous proposons d'illustrer cette classification à partir de cinq cas, cinq physiciens indiens.

Nous avons classé le physicien R.K, qui travaille sur les interactions lasers et matière solide, dans le cas 1 : objectivité forte. Il estime en effet que le critère le plus important de scientificité est l'objectivité qu'il perçoit comme l'indépendance des résultats vis-à-vis de l'observateur. À la question concernant l'état avant la mesure, il répond : « I think they don't acquire properties. [...] I don't believe that the object was created because I made a measurement or that the value was given because I measure it ». Cette réponse confirme son positionnement en faveur d'une absence d'influence de l'observateur dans la détermination des propriétés du système. Enfin, sa conception de la conscience est très matérielle : « There is a unique reality in which consciousness emerges from matter ». Il pense que l'on comprendra bientôt le cerveau, les émotions, etc. sur la base de la connaissance de la matière.

Prenons un autre cas. I.U, un théoricien qui travaille sur les ondes gravitationnelles. Interrogé sur le rôle de l'observateur, il répond qu'il s'agit d'une question ouverte, et qu'il ne voit aucune

expérience possible permettant de le mesurer, même s'il connaît des personnes qui travaillent dans ce domaine. Il pense que la conscience est matérielle, que c'est un système quantique complexe. « Je ne pense pas que la conscience projette l'état du système. Mais je n'explique pas pour autant le problème de la mesure ». Concernant la définition de l'état du système avant la mesure : « As a materialist physicist [...] I would like to believe, like Einstein, that physical objects have their properties (load, position, speed, etc.) defined earlier and independently of the measure ». Il aimerait le croire, mais ne l'affirme pas, car, dit-il, la théorie ne dit rien à ce sujet. Il dit que les propriétés étaient là même si elles peuvent changer avec la mesure. Cet état existe avant la mesure, mais l'observateur peut le modifier, comme n'importe quel objet interagissant. On peut donc le situer dans le cas 1, objectivité forte.

K.X, une physicienne des particules est classée dans le cas 3 (subjectivité). Elle dit : « The observer plays a role as a physical complex quantum system, it disturbs the system ». Puis ajoute que, d'une certaine façon, l'observateur choisit la réponse (« chooses the answer »). Doit-on comprendre que l'observateur détermine, par sa volonté, l'état de la particule ? « Ok the point is we are talking about the transcendental...the moment we want to measure something absolutely; we know that we are disturbing the system, ok? But everyday life is all that matters. Microscopic scale always doesn't matter ». Tout en attribuant un rôle crucial à l'observateur dans la mesure quantique, elle lui refuse ce rôle dans le monde macroscopique, qui est, dit-elle « tout ce qui compte ». Concernant la conscience, « I am not particularly spiritual, I don't have any guru, etc. But I believe in something we cannot understand. I think consciousness has a part which is not material ». Elle pense que la science ne pourra jamais connaître l'esprit humain, la souffrance, etc. Est-ce pour elle, cette partie non matérielle de la conscience qui « choisit » et qui projette l'état du système lors de la mesure ? Concernant sa perception de ce qu'est l'état des particules avant la mesure: « Some of the things I think you can say that are independent properties, but the other ones no ». Une partie des propriétés du système sont définies avant l'observation, d'autres après. C'est cette partie non définie qui semble pouvoir être soumise au « choix » de l'observateur. Nous pouvons la situer dans le cas 3 (subjectivité), surtout à cause du fait qu'elle pense que l'observateur « choisit » le résultat de la mesure.

N.J, astrophysicien est placé du côté de l'objectivité faible (cas 2). Il se réfère au principe d'incertitude – autrement appelé principe d'indétermination – d'Heisenberg pour expliquer le rôle de l'observateur. En deçà de cette limite, estime-t-il, l'observateur influence la mesure, pas au-delà. « That's what the uncertainty principle deals with. Within the limit of uncertainty

principe, the observer influences, but not beyond that ». Veut-il dire que, dans le domaine microscopique, l'observateur influence la mesure, pas dans le monde macro, de la même manière que la physicienne précédente ? D'après lui, les particules acquièrent leur propriété avec la mesure, leurs propriétés ne sont pas déterminées avant la mesure. Il attribue un rôle spécifique au mental, car il explique que les briques fondamentales de la matière sont constituées d'un arrangement spatial, et du mental : « space time arrangement, and mental with them ». Concernant la conscience, voici ce qu'il dit « It is true that matter and environment also affect consciousness but consciousness is not entirely determined by them. A complex relationship exists between consciousness and matter ». Donc, il n'est pas totalement matérialiste. Pour lui, avant la mesure l'état est superposé, donc, la mesure provoque l'état.

Le physicien L.H est du côté de l'objectivité faible (cas 2). Il estime en effet que l'observateur influence la mesure, quand on essaie de savoir par quelle fente l'électron est passé, explique-t-il, il n'y a plus de figure d'interférence : « you put that there and it destroys the internal pattern. The electron which will have filtered will be out of coherence. For the electron for which you have counted there will not be any kind of pattern ». La mesure, il répond qu'elles sont dans un état indéterminé avant d'interagir avec un observateur. Concernant maintenant la conscience de l'observateur, il estime que la mesure serait différente pour chaque observateur, si leur conscience intervenait. Il donne l'exemple de l'expérience des fentes d'Young, où l'on observe la même chose, quel que soit l'observateur. « For example, I am doing this experience with electrons, I have two slits and electrons behave like a wave. I cover one slit and then electrons behave no more like a wave. No matter if it is me or someone else. Anyone who observe, then the same properties follow. So if it was consciousness, it should change depending on the observer. So I am not sure consciousness plays a role ». Pour lui, la souffrance, les émotions, les pensées ne peuvent pas être quantifiées, donc elles sont non matérielles : « Consciousness is something qualitative not quantitative ».

Ces cinq exemples illustrent la variété et la complexité des attitudes des physiciens interrogés concernant le rôle de l'observateur en physique quantique. Même si le classement que nous avons élaboré n'est pas extrêmement précis, nous pouvons observer (voir annexe 7) que la tendance entre physiciens indiens et français se confirme.

Afin de déterminer si le pays et la culture d'origine des physiciens influencent l'adhésion au *thema* ordre/désordre, nous leur avons posé quatre questions pendant les entretiens, et pour certains nous avons aussi exploré leurs publications pour compléter leurs réponses au besoin.

QUESTIONS DU *THEMA*

Question « ordre »

La nature vous paraît-elle ordonnée ou chaotique ?

Question « Heisenberg »

Êtes-vous d'accord avec cette proposition d'Heisenberg de remplacer le concept d'une particule fondamentale par celui d'une symétrie fondamentale ?

Le physicien indien L.X dit : « Il existe une forme d'ordre mathématique, de symétrie partout ». Il lie donc implicitement la question de l'ordre à la symétrie.

Question « contrôle »

Devons-nous nous ajuster à la nature ou bien la contrôler ?

Percevoir un ordre dans l'univers est-il lié au désir de s'adapter à la nature plutôt que de chercher à la contrôler ? Effectivement, il semble plus difficile de s'adapter au chaos ! On a davantage tendance à vouloir maîtriser le chaos, le contrôler, notamment par la science. I.P par exemple cherche à trouver de l'ordre dans le chaos apparent, « on y arrive assez bien à y trouver de l'ordre, on arrive à prévoir avant que cela devienne chaotique, après aussi. And we are no more afraid of thunder, we know it happens ». La physicienne Y.N dit ainsi : « Je crois qu'il y a un ordre caché auquel nous devons nous adapter ».

Questions « théorie »

Nous aurions pu intégrer à ce *thema* la question « théorie » (Quels sont les aspects les plus importants pour une théorie), car certaines réponses font référence à la symétrie. La symétrie apparut comme le premier critère pour 27% des chercheurs indiens, contre 8% pour les Français. Cette répartition va dans le sens d'une plus grande importance de la symétrie pour les physiciens indiens. Nous n'avons pas intégré cette question dans l'élaboration du degré d'adhésion au *thema* ordre/désordre, car les réponses pouvaient être multiples et complètement

étrangères à cette question. Nous allons cependant les intégrer dans l'analyse qualitative, au cas par cas, des réponses.

Répartition des réponses

| Questions | Heisenberg | | Contrôle | | | Ordre | | |
|----------------------------|------------|-----|-----------|---------|----------|----------|-----------|----------|
| | oui | non | contrôler | adapter | les deux | ordonnée | chaotique | les deux |
| Physiciens français | 35% | 65% | 21% | 36% | 43% | 44% | 21% | 35% |
| Physiciens indiens | 69% | 31% | 14% | 62% | 24% | 55% | 16% | 29% |

Tableau 13 : Répartition des réponses aux questions relatives au *thema* ordre/désordre.

Explication : Nous remarquons que l'adaptation à l'ordre de la nature recueille plus de voix parmi les Indiens, alors que les Français se situent dans une position intermédiaire. On perçoit une tendance plus grande des physiciens vers la vision d'une nature ordonnée, plus partagée chez les physiciens français. La symétrie (question « Heisenberg ») tient une place plus importante pour les physiciens indiens que pour les physiciens français.

Degré d'affinité - *thema* ordre/désordre

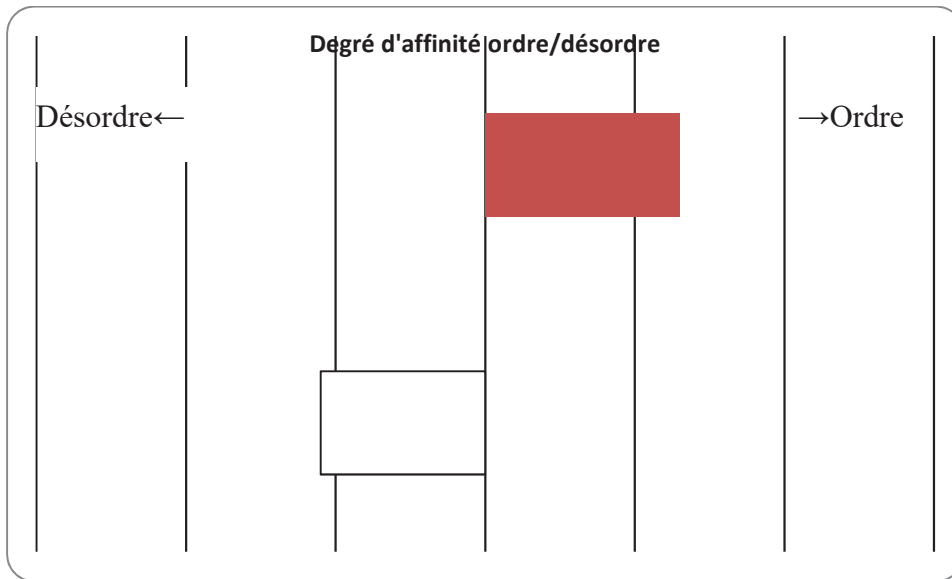


Figure 19 : Degré d'affinité au sein du *thema* ordre/désordre.

Explication du graphique : Ce coefficient rend compte de la vision des physiciens concernant l'ordre de la nature : plus celui-ci est proche de 1, plus les physiciens perçoivent un ordre dans la nature, et de -1, une absence d'ordre. Son calcul est basé sur les réponses aux questions : « Heisenberg » [d'accord 1, pas d'accord -1], « contrôle » [contrôler la nature -1/ s'y adapter 1] et « ordre » [nature ordonnée 1/chaotique -1].

| | Physiciens français | Physiciens indiens |
|---------------|---------------------|--------------------|
| Degré d'ordre | -0,22 | 0,26 |

Principaux résultats

- Pour une majorité de physiciens indiens, il faut comprendre l'ordre et l'équilibre de la nature et s'y adapter. Pour eux, l'ordre est apporté par la nature plus que par la science, et c'est ce qui permet d'atteindre un juste équilibre. La science permet de comprendre cet ordre.
- Pour une majorité de Français, il faut trouver une attitude raisonnable envers la nature qui s'appuie sur une forme de contrôle. L'ordre est assimilé à un contrôle, apporté par la science plutôt qu'intrinsèque à la nature, c'est ce qui permet la prédictibilité (et la science).
- La nature est majoritairement vue comme ordonnée, davantage pour les physiciens indiens que français. Ces derniers accordent un rôle bien moins fort à la symétrie, alors que leurs homologues indiens estiment que la symétrie est « partout ». Elle y

tient donc une place essentielle, pour eux, dans les théories et de représentations du monde physique.

- La symétrie est, chez les physiciens indiens, synonyme d'ordre et d'équilibre. Pour les physiciens français, la symétrie n'a de véritable intérêt que lorsqu'elle est brisée.

LA QUESTION DE L'ORDRE ET DE LA SYMÉTRIE DANS LA PHYSIQUE MODERNE

L'opposition thématique ordre/désordre englobe des jeux d'opposition stabilité/mouvement, harmonie/discordance, etc. L'historien des sciences, G. Holton a étudié dans les écrits de physiciens du XX^e siècle, leur adhésion thématique à l'idée d'ordre. « Face à la diversité confondante des particules élémentaires, écrit-il, la mise en ordre du chaos, [...] vient à la rescousse en tant que *themata* méthodologique. Cette division en quatre catégories – la gravitation, l'interaction électromagnétique, les interactions fortes et les interactions faibles – ne revient pas simplement à répartir, dans des cases distinctes, des espèces tout à fait différentes. Il y a une authentique hiérarchie » (Holton 1981 p37). Il explique donc que l'ordre est un fort engagement thématique des physiciens de cette époque. Mais avec le développement de la mécanique quantique, l'apparence d'ordre newtonien est renversée. Einstein, également étudié par Holton, attiré par l'ordre, espérait ainsi démontrer que, sous le niveau où opère le principe d'incertitude, on trouve un autre niveau où des mécanismes agissent selon les principes classiques, produisant un chaos apparent à partir de l'ordre (Holton 1981 p44). Cette question de l'ordre est au cœur de l'évolution de la physique. Le philosophe J.M Berthelot (Berthelot 1990) estime que « la société moderne, construite sur les idées de régularité, de structure, d'ordre, enregistre avec les développements récents de la thermodynamique et de la biophysique, le renversement de ses perspectives. [...] Désormais, la nature, le monde ne sont pas considérés sous l'aspect d'un ordre au sein duquel travaille le désordre, mais sous l'aspect inverse, celui des turbulences, des mouvements d'apparence erratique » (p162). La question de la symétrie aussi est au cœur de l'évolution de la physique. Un incontournable ouvrage dans ce domaine est celui du physicien Joe Rosen (Rosen, 2008). Rosen montre que la physique moderne a appuyé sa recherche des structures profondes du réel par la voie de la symétrie, et des brisures de symétrie. Il montre aussi que la question de la symétrie reflète ainsi le façonnement mathématico- expérimental de notre appréhension du monde.

Heisenberg, un physicien incontournable du XX^e siècle qui a reçu le prix Nobel en 1932, a proposé de remplacer le concept de particule fondamentale par celui de symétrie fondamentale.

Rappelons que sa physique possède une dimension philosophique, notamment platonicienne. Comme l'explique Malcolm Longair, « au cœur de l'approche d'Heisenberg se trouvait le rôle joué par le comportement non commutatif des variables quantiques et la quantification du moment des variables spatiales. Pour s'en accommoder, un nouveau calcul mathématique a été inventé à partir du constat que les matrices suivaient précisément les règles algébriques correctes »⁴³ (Longair 2013 p278). Dans son autobiographie (1971), Heisenberg revendique une posture impopulaire de critique de la recherche en physique des particules et propose que la symétrie, et non pas les particules élémentaires, soit le point de départ d'une description du monde.

Analyse des réponses

Nous n'allons pas développer ici l'ensemble de l'analyse des réponses à ces trois questions. Elle est consultable en annexe 13. Nous donnons ici quelques exemples frappants des arguments des physiciens. Ces arguments montrent leur penchant en faveur ou en défaveur de l'ordre et de la symétrie, et leur conception du rôle de la science, comme moyen de contrôle (apporter de l'ordre), ou d'adaptation (s'ajuster à l'ordre existant).

« Je crois qu'il y a un ordre caché auquel nous devons nous adapter » exprime la physicienne Y.N. La majorité des physiciens indiens est convaincue de l'existence d'un ordre dans la nature. « I am amazed by the structures that are developed by nature. It looks like there is lot of order, even the chaotic behavior is probably intended for a certain purpose », dit le physicien des lasers R.K. Même si la majorité des physiciens indiens conçoit la réalité comme étant ordonnée, il en reste qui laissent une place au chaos (ceux qui sont dans le cas « les deux »). Dans ce cas, l'ordre apparaît comme un phénomène émergent du désordre. A.D trouve que la nature est chaotique et voit l'ordre comme un phénomène émergent. Pour K.L aussi, l'ordre est un phénomène émergent: « If you look at things you see there is order. For exemple in a table electrons are chaotic, from outside you give this property of a table. It is an emergent phenomenon ». Pour le jeune théoricien I.P, le chaos est aussi une forme d'ordre. T.P croit aussi que le chaos est ordonné, équilibré. « For me, chaos is balanced. In the sense that nature is dictated by laws of nature, chaos is also a law of nature. I don't believe in laws, I think there is harmony in nature ». Ils défendent donc l'idée d'un ordre harmonieux auquel l'homme doit s'adapter. L'ordre

⁴³ Traduction personnelle de : "At the heart of Heisenberg's approach was the fundamental role played by the non-commutative behaviour of the quantum variables and the quantization of both the momentum and spatial variables. To accommodate the features, a new mathematical calculus had been invented from the realization that matrices followed precisely the correct algebraic rules ».

perçu par ces physiciens indiens semble reposer sur un besoin, un besoin d'équilibre notamment.

Les physiciens français sont un peu plus nombreux que les physiciens indiens à trouver la nature chaotique. « Même dans l'espace c'est le cafouillis, avec le mouvement des planètes », dit la jeune O.X. Pour le doctorant E.T, ce n'est pas parce que les lois sont ordonnées que ce n'est pas chaotique. X.I dit qu'il n'aime pas la notion d'ordre, « si c'est ordonné, ça veut dire qu'il faut tout prévoir, et ce n'est pas possible ». U.Z croit que rien n'est intrinsèque à la nature, tout dépend de nos projections sur elle. Il interprète cependant l'évolution des sciences comme une découverte de la complexité. Pour PZ, la nature est chaotique et ordonnable. « Les hommes ont tenté de la rendre simple grâce à la symétrie au XX^e siècle. Au XXI^e siècle, rien de neuf encore ». Pour eux donc, l'ordre n'est qu'une notion mentale, voire morale, non intrinsèque à la nature. On trouve beaucoup d'allusions au fait que la science apporte de l'ordre à la nature. D'après U.N : « La nature est complexe et c'est le travail du scientifique d'allier ses efforts afin de révéler des symétries ». La différence qui apparaît avec les physiciens indiens est que l'ordre est assimilé à un contrôle, apporté par la science, plus que par la nature elle-même.

La plupart des physiciens indiens rencontrés répondent aussi qu'il faut s'adapter à la nature plus que la contrôler. Pour le physicien indien K.M par exemple, « La nature est sacralisée. Donc, connaître le monde physique est sacralisé. La pratique scientifique est comme une sorte de prière à la nature. La nature n'est pas vue comme quelque chose qui nous sert, mais que l'on sert ». La jeune physicienne L.K dit: «Adapt, this is my stand on it. Although, we have done a good job understanding nature, we are a subcomponent of it and I prefer to stay that way rather than turning the hierarchy around ». Elle conçoit l'homme comme un élément de la nature, et ne cherche pas à utiliser la science pour renverser cette hiérarchie. On remarque donc que l'adaptation est préconisée parce qu'un ordre (une hiérarchie) et une imbrication s'imposent à l'homme. L'ordre existe dans la nature et l'homme doit s'y adapter, maintenir l'équilibre et, pour ce faire, le comprendre.

Les physiciens français optent dans leur majorité pour un contrôle modéré : « la contrôler à bon escient, en osmose sans la détraquer » dit le physicien français J.Y. « Je ne veux pas vivre à l'âge de pierre et mourir à 20 ans du Tétanos s'exprime U.R. Il ne faut ne pas oublier l'éthique, mais pas revenir à l'âge des cavernes non plus (E.T). « Il faut chercher à ne pas trop détruire la nature tout en progressant » (U.R). Le progrès est fondé sur une maîtrise de la nature. Les différentes réponses convergent pour dessiner une tendance : les physiciens indiens sont plus enclins à vouloir préserver un ordre et un équilibre dans la nature en s'y adaptant et en le

comprenant ; les Français optent davantage pour le contrôle et la maîtrise, mais de manière raisonnable.

Voir de l'ordre dans la nature, c'est aussi ce qui permet la prédictibilité, qui est pour les physiciens indiens l'un des critères importants de scientificité. K.P dit : « chaos also can be orderly » (K.P). La science donc est possible grâce à l'ordre dans la nature. C'est aussi le cas de la symétrie. W.M, théoricien de la supergravité qui a, par ailleurs, élaboré une conférence sur la symétrie en science, à destination du grand public (figure 20). Il estime que la symétrie permet de déduire un tout d'une partie, elle rend possible l'atomisme, le réductionnisme. C'est donc, pour lui, un outil essentiel des sciences. Elle permet de rendre les lois de la physique possibles : « un atome d'hydrogène à Mumbai est le même qu'à Paris ».

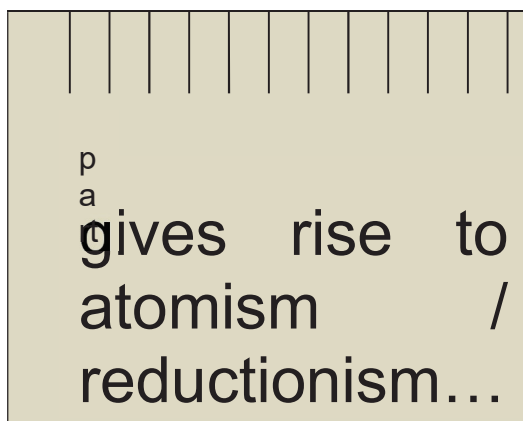
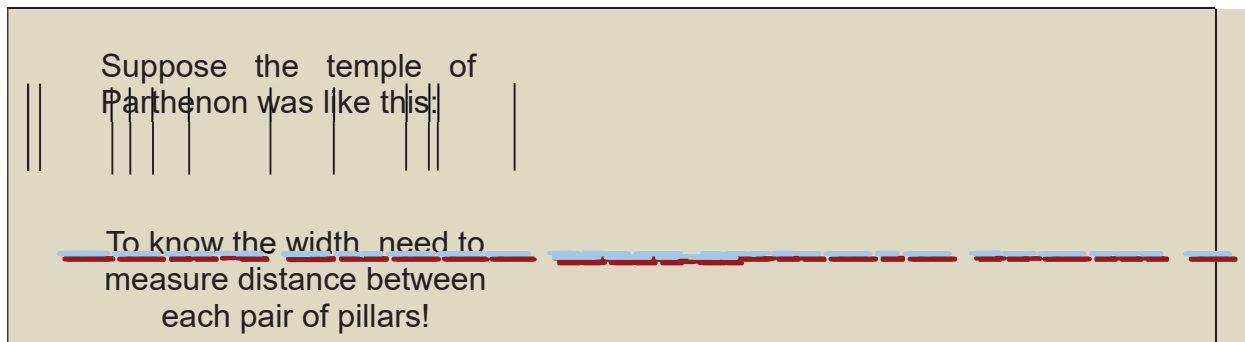


Figure 20 : Extrait visuel de la conférence de W.M datant de 2004. Sans symétrie, on ne peut déduire le tout à partir d'une partie. Exemple avec les piliers du Parthénon, grâce à la symétrie, on peut estimer la répartition de tous les piliers, à partir de quelques-uns.

L'un des arguments au sujet de l'importance du concept de symétrie mis en avant par les physiciens indiens est sa présence essentielle dans les nouvelles théories de la physique

moderne. Une expérimentatrice en physique nucléaire, Y.N, explique qu'elle est d'accord avec Heisenberg parce qu'elle sait que le comportement des particules peut seulement être décrit par la mécanique quantique qui est basée sur la symétrie. K.X, expérimentatrice en physique des hautes énergies, indique que son domaine de recherche est basé sur l'idée de symétrie. « Once you found a symmetry, things are more simple ». I.J estime quant à lui que « Most of the laws of physics can be extracted from simple symmetry principles and conservation laws ». Les lois reposent donc sur la symétrie. Pour le théoricien U.J, la symétrie est le principe qui le guide le plus dans ses recherches parce que, pour lui, les lois les plus fondamentales de la physique, les lois de conservation, sont une propriété émergente de la symétrie. Les physiciens tendent à voir des symétries dans les théories modernes de la physique. À l'inverse, les physiciens français, alors qu'ils travaillent des domaines de recherche similaires, trouvent au contraire que la symétrie n'est plus observée dans ces domaines de recherche. Quand ces physiciens admettent l'importance de la symétrie en physique, c'est plutôt la brisure de symétrie qui les intéresse : « Il ne s'agit pas d'une symétrie absolue, on ne peut pas parler de symétrie sans brisure de symétrie. Pour unifier les interactions faibles et fortes, il a fallu faire appel à une brisure de symétrie qui a donné le Higgs » (I.I). Selon X.U, « Toutes les symétries que l'on connaît ont fini par être reconnues comme approchées, des symétries approchées : la parité, le renversement du temps, la conjugaison particule/anti-particule ... On s'aperçoit qu'il y a toujours une dissymétrie quelque part. La symétrie est faite pour être brisée. Sinon ça devient ennuyeux. Imaginez les bâtiments, les visages symétriques, ça ne servirait à rien de construire l'autre partie. Et l'art non plus n'aime pas la symétrie ». « La symétrie c'est un aspect important, mais ce n'est pas le principal » explique PX, physicien français en optique. Pour PQ, physicien des particules : « Il y a bien quelques propriétés physiques qui sont symétriques, mais je ne sais pas s'il existe ou s'il faut une symétrie fondamentale ».

Beaucoup de physiciens indiens ont la conviction que la nature est symétrique alors qu'un seul physicien français s'est exprimé ainsi. L.X, physicien indien de la matière condensée, est à ce point persuadé que « la symétrie est dans la nature », qu'il présume que l'ensemble des physiciens est de cet avis. « Il existe une forme d'ordre mathématique, de symétrie partout », dit-il. « Pourquoi sommes-nous tous symétriques ? » Cet argument est repris par un post-doctorant en physique des hautes énergies : « De toute façon, la symétrie est dans la nature » dit J.L. L'aspect le plus important d'une théorie, explique la physicienne V.N, est la symétrie parce que « la plupart des choses sont symétriques dans le monde ». Certains estiment même que l'asymétrie révèle une symétrie « intérieure ». « Une belle équation est comme une musique et possède une symétrie intérieure. Elle assemble des différences, comme un puzzle,

estime K.M. La beauté c'est la symétrie, ou une asymétrie : une symétrie brisée de manière harmonieuse ». « Most of things are symmetric in the world and even when there are some cracks, then originally there is symmetry » dit R.W. Une réponse face à l'absence de symétrie de la flèche du temps ou de phénomènes chaotiques – est que ces phénomènes répondent toutefois à un ordre, à un équilibre. Même les événements chaotiques peuvent correspondre à un ordre, à un équilibre, comme le témoigne un physicien théoricien. En fait cette question de la symétrie semble liée dans l'esprit d'un grand nombre de physiciens indiens à la beauté. « I love arts so I love symmetry but not too much, otherwise it is boring. When you go to museum and you see a completely symmetrical things, it keeps your attention for a while », dit K.P. L'ordre et la symétrie correspondent donc à des attachements, au fait de voir ou vouloir voir le monde de cette manière.

IV.F. THEMA SYSTÉMISME/RÉDUCTIONNISME

Les physiciens d'aujourd'hui se représentent-ils l'univers de manière réductionniste ? C'est-à-dire comme une collection d'éléments séparés ? Ou bien perçoivent-ils les propriétés émergentes et les interrelations (holisme) au point de rejeter toute approche réductionniste ? Nous allons montrer que les physiciens indiens sont davantage attachés au systémisme que les Français. Holton appelle aussi ce *thema* multiplicité/unité. On peut aussi l'appeler universel/contextuel. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, la position holiste rejoint l'adhésion à la multiplicité et la contextualité et celle du réductionnisme à l'unité et l'universalité. Le lecteur peut se sentir perdu en lisant cette phrase, mais nous allons y revenir et expliquer pourquoi, en explicitant aussi ce que nous entendons par ces concepts.

On pourrait penser que le réductionnisme est une attitude dépassée en science, rappelons qu'une grande partie de la recherche actuelle suppose que le réductionnisme est une doctrine métaphysique correcte (Ereshefsky 1995) comme le montrent la détermination des fondements génétiques présumés de comportements humains, ou la recherche de particules élémentaires. Par *holisme*, nous entendons une ontologie dans laquelle les caractéristiques d'un système ne peuvent être connues que lorsqu'on l'appréhende dans son ensemble, et non pas à travers la connaissance de ses seules parties. Dans cette approche, il existe donc des propriétés du système non-déductibles de celles de ses éléments. On dit couramment que « le tout est plus (ou autre) que la somme de ses parties ». Dans ce sens, le holisme est opposé au réductionnisme. Dans l'approche réductionniste, un système peut en effet être entièrement décrit à partir des propriétés de ses parties. Le terme « holisme » fut introduit dans les années 1920 par J-C. Smuts à l'origine

pour expliquer que les corps vivants sont des totalités qui ne s'expliquent pas par un assemblage de parties. Il faut rattacher à cette définition ce que l'on nomme « le principe d'émergence » : un « tout » n'est pas un simple agrégat : à partir d'un certain seuil critique de complexité, les systèmes voient apparaître de nouvelles propriétés, dites propriétés émergentes, liées à l'organisation nouvelle en jeu. Dans cette approche, les objets n'existent pas de manière indépendante, c'est à travers leur réseau de relations qu'ils se définissent.

Il suffirait donc, pour savoir si les physiciens rencontrés sont plutôt holistes ou bien plutôt réductionnistes de leur demander : « le tout est-il égal à la somme des parties ? ». Nous n'avons pas posé cette question. Pourquoi ? Car nous pensons qu'ils auraient eu une réponse identique ; trop soucieux de paraître réductionnistes, ils auraient répondu « non ». Nous avons préféré poser des questions moins directes pour sonder leurs adhésions philosophiques intimes.

Il existe au moins deux types d'attitudes réductionnistes qu'il faut bien distinguer. C'est ce que fait le physicien Steven Weinberg, dans *Reductionism redux* (Weinberg 1995) : « We ought first to distinguish between what (to borrow the language of criminal law) I like to call grand and petty reductionism » (p2). Ce qu'il appelle « Grand réductionnisme » est l'idée que la nature dépend de lois simples auxquelles toutes les lois scientifiques se rapportent, c'est ce que nous venons de présenter et que nous analyserons dans une première partie. Le « petit réductionnisme » quant à lui est la doctrine – moins intéressante selon Weinberg- selon laquelle les propriétés des systèmes dépendent uniquement de celles de leurs constituants : par exemple un diamant est dur du fait que les atomes de carbone qui le composent s'imbriquent nettement. Ces deux types de réductionnisme sont souvent confondus parce que la majeure partie du progrès en science a consisté à répondre à des questions sur ce dont les choses sont constituées, explique Weinberg. Mais pour lui, « Petty reductionism is not worth a fierce defense. Sometimes things can be explained by studying their constituents – sometimes not » (p2). Ainsi, croire qu'il existe des constituants élémentaires découle-t-il d'une attitude réductionniste ? Cette attitude consiste plutôt à croire qu'il existe des constituants élémentaires et que ceux-ci suffisent à expliquer tous les systèmes dont ils sont les constituants.

Questions du *thema*

Question « unification »

Devons-nous rechercher une théorie unificatrice ?

Quand on est holiste, on est logiquement convaincu qu'il existe des propriétés émergentes à chaque niveau d'organisation. Pour les holistes, il existe donc des lois spécifiques qui régissent

ces niveaux d'organisation, comme par exemple dans le cas des propriétés qui apparaissent en physique statistique dans des systèmes d'atomes ultra-froids. Il n'y a de lois valables qu'au niveau précis que l'on étudie, pour lequel apparaissent des propriétés émergentes. On ne peut donc estimer qu'il existe une loi universelle déclinable selon les situations, puisque cette loi ne prend pas en compte les caractères émergents. On penche donc pour des lois contextuelles et non universelles, on n'a *a priori* donc pas la conviction qu'il existe une loi unificatrice. Il existe des théories valables relativement à chaque échelle, comme par exemple l'échelle quantique (Planck) et l'échelle classique, et on ne cherche pas à les unifier. Si à l'inverse, nous sommes plus atomistes qu'holistes, alors, les lois applicables aux parties sont applicables à toute forme d'assemblage de ces parties et donc, une loi unificatrice est pleinement envisageable. Pour conclure, ceux qui sont attirés par l'atomisme devraient être aussi attirés par une loi unificatrice, et ceux qui sont davantage holistes, par des lois multiples, à chaque niveau d'échelle.

Question « disciplines »

Les disciplines scientifiques vous paraissent-elles trop cloisonnées ?

Certains physiciens français disent que la théorie ultime existe, mais que le manque d'interdisciplinarité nuit à la recherche d'unification. Pour le physicien X.U, une bonne théorie doit être simple et valide à différents niveaux d'échelle, et le manque d'interdisciplinarité nuit à cela. Donc, avoir besoin de cloisonner les disciplines relève plutôt d'une attitude holiste, plus que réductionniste. Le réductionniste cherche la réduction des principes donc l'unification des lois, et donc l'interdisciplinarité. Alors que le systémiste estime qu'à chaque discipline son niveau d'échelle. Ainsi, la physique quantique, sous le femtomètre, la théorie des cordes, sous l'échelle de Planck ? L'astrophysique, au-dessus de l'échelle terrestre, etc. Si chaque niveau d'échelle s'étudie par une discipline propre, c'est qu'à ce niveau apparaissent des propriétés qui lui sont propres. On parle de propriétés émergentes. La place du contexte et des propriétés émergentes est liée à chaque niveau d'échelle.

Question « théorie »

Quel est l'aspect le plus important pour une théorie ? Autrement dit, parmi plusieurs théories proposant une description d'un ensemble de phénomènes, quels sont les aspects qui donneraient votre faveur à l'une d'elles ?

Cette question appelle plusieurs types réponses, et nous ne pouvons donc pas l'utiliser dans l'élaboration statique du *thema*. Cependant nous pouvons observer que ces réponses confirment la tendance observée pour les Français en faveur de l'unification des théories.

Question « briques »

Pensez-vous qu'il existe des briques élémentaires de la matière et si oui, lesquelles ?

Cette question est insuffisante pour savoir si les physiciens adhèrent au « grand réductionnisme ». Cependant, les physiciens holistes ne devraient pas accepter qu'il existe des blocs ultimes. S'ils sont holistes, ils doivent répondre à cette question en disant qu'il existe des briques fondamentales différentes à chaque niveau d'organisation. Ceux qui évoquent des briques uniques, comme constituants ultimes sont *a priori* moins holistes. La question peut donc nous être utile pour déceler le penchant thématique des physiciens.

Dans le cas où l'on est holiste, on ne doit *a priori* pas penser qu'il existe des briques élémentaires auxquelles on peut réduire la matière, mais qu'en fonction des niveaux et des contextes, on trouve différents types de « briques ». Ainsi, ceux qui répondent, « ça dépend du contexte », paraissent vraiment holistes. Pour les autres, on ne peut pas se prononcer. Les physiciens peuvent répondre qu'il existe des blocs élémentaires et cependant être holistes. Par exemple le théoricien X.U estime qu'il existe des blocs élémentaires comme les électrons, mais pour lui, « un électron n'existe pas en lui-même, il est dépendant d'un champ plus vaste, c'est juste une excitation du champ. Chaque objet possède différentes faces, différents aspects selon comment on le regarde, cela dépend du contexte d'expérience ». Il est donc plutôt à classer dans le non-réductionnisme, le systémisme. Difficile donc de savoir quelle proportion de ceux qui répondent qu'il existe des blocs est attirée par le systémisme. Par contre, on peut au moins vérifier, à travers l'analyse des réponses, que ceux qui nient l'existence de blocs élémentaires le font parce qu'ils s'intéressent aux relations, aux propriétés émergentes, bref, parce qu'ils adoptent une attitude systémique.

Nous pouvons simplement dire que les statistiques sur cette question semblent cohérentes avec les chiffres des autres questions de ce chapitre : un peu plus de physiciens indiens penchent en faveur de la contextualité (et du holisme).

On ne peut donc dégager que certains holistes, pas tous, avec cette question. Elle ne nous sert donc pas pour l'élaboration statistique du *thema*, mais par contre, elle l'est dans l'analyse détaillée des arguments.

| Questions | Unification | Disciplines | Théorie | Briques |
|-----------|-------------|-------------|---------|---------|
|-----------|-------------|-------------|---------|---------|

| | Unité | Multip le | Ne sait pas | Trop | Pas trop | Simpli cité | Uni té | Aut re | Oui | Non, c'est contextuel |
|--------------------------------|-------|--------------|-------------------|------|-------------|----------------|-----------|-----------|-----|--------------------------|
| Physiciens français | 59% | 34% | 6% | 71% | 29% | 21% | 10 % | 69 % | 79% | 21% |
| Physiciens indiens | 48% | 52% | 0% | 34% | 60% | 10% | 6% | 84 % | 66% | 33% |

Tableau 14: Répartition des réponses des deux groupes de physiciens indiens et Français aux différentes questions impliquées dans le *thema* systémisme/réductionnisme.

Nous observons un peu plus de faveur envers l'unification et la simplicité des théories pour les physiciens français. Ils estiment aussi que les disciplines sont trop cloisonnées, ce qui rejoint la démarche unificatrice.

Degré d'affinité - *thema* systémisme/réductionnisme

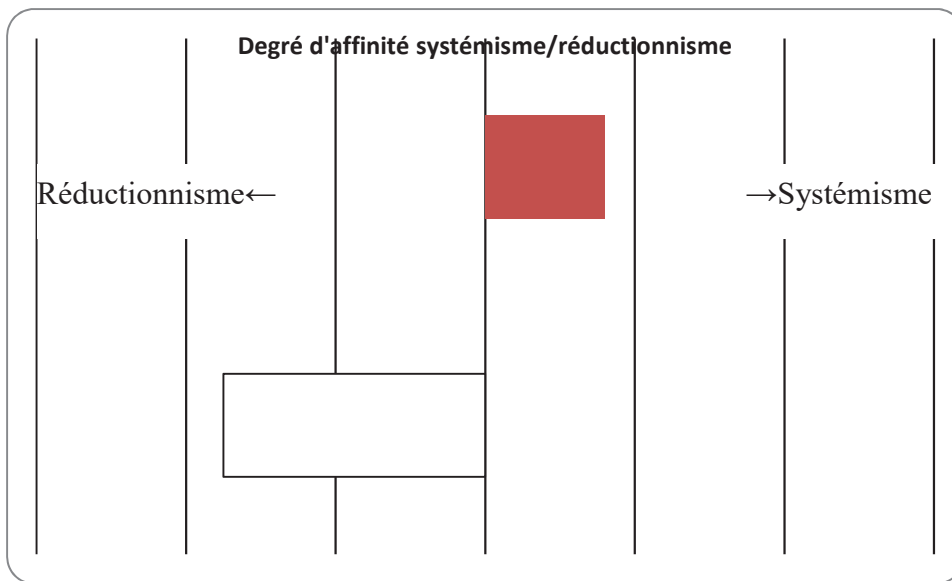


Figure 21 : Degré d'affinité au sein du *thema* systémisme/réductionnisme.

Explications du graphique : Ce coefficient rend compte de la vision des physiciens concernant la connaissance du tout à partir des composés : plus ce coefficient est proche de 1, plus les physiciens perçoivent le tout comme possédant des propriétés non présentes dans les parties (émergentes) et l'impossibilité de connaître l'ensemble uniquement par ses parties (systèmeisme). Plus il est proche de -1, plus c'est l'inverse (réductionnisme). Son calcul est basé sur les réponses aux deux questions : « théorie » [unificatrice -1, multiples théories contextuelles 1], et « disciplines » [trop cloisonnées -1, pas assez 1].

| | Physiciens français | Physiciens indiens |
|----------------------------|---------------------|--------------------|
| Degré de systémisme | -0,35 | 0,16 |

PRINCIPAUX RÉSULTATS

- Une légère tendance des physiciens indiens en faveur du systémisme et en faveur de la contextualité
- Une légère tendance des physiciens français en faveur du réductionnisme.
- Recours plus fréquents des physiciens indiens à la notion d'émergence
- Le réductionnisme reste assez usité parmi les physiciens. L'existence de propriétés émergentes et de dépendance aux relations, aux niveaux d'échelles et aux contextes est reconnue, mais n'empêche pas un espoir maintenu envers une théorie ultime et des constituants élémentaires.
- Le réductionnisme est une attitude associée à la démarche scientifique, de même que la quête d'universalité et de simplicité, c'est sûrement une des raisons qui pousse les physiciens à rechercher des lois universelles alors qu'ils reconnaissent les contraintes contextuelles des propriétés émergentes. Et qui se traduit par une répartition assez équilibrée sur ces questions.

Nous allons analyser les réponses des physiciens à ces quatre questions.

PLACE DE L'ATTITUDE RÉDUCTIONNISTE EN PHYSIQUE

Les attitudes thématiques holistes ou réductionnistes ont habité nombre de physiciens dans l'histoire des sciences. On peut remonter à Démocrite, défenseur d'une théorie atomiste dans laquelle des éléments indivisibles, par leur combinaison, peuvent en théorie expliquer les assemblages macroscopiques. Il avait donc un *thema* réductionniste prononcé ! Aristote, au contraire, avec sa théorie des mixtes, est davantage holiste, car ces substances lorsqu'elles interagissent, ont des propriétés qui se transforment (forme d'émergence). Dans l'atomisme d'Épicure, au contraire, les propriétés des atomes ne changent pas même en se recombinaient. La théorie des mixtes était plus en phase avec les observations des alchimistes, pour lesquelles les propriétés des substances changent en se combinant. La théorie atomiste a été oubliée jusqu'à XV^e siècle, époque où fut redécouvert le poème de Lucrèce (*De rerum natura*) par Le Pogge. Cette théorie fut réutilisée par des physiciens tels que Galilée, Descartes ou Newton, car elle correspondait mieux à une vision mécaniste et réductionniste du monde.

L'hypothèse atomiste a été débattue épistémologiquement jusqu'à la fin du XIX^e siècle, où des expériences sont venues enrichir le débat (Becquerel sur la radioactivité, Thomson en 1897,

Perrin en 1913, Rutherford en 1911, etc.) L'existence d'atomes et de particules élémentaires n'est plus soumise à débat. Ce qui reste débattu, c'est la limite ultime de ces constituants élémentaires, et l'existence même de constituants ultimes. Certains pensent qu'il existe des constituants ultimes, d'autres non. Le mécanisme de propriétés émergentes aux différents niveaux d'échelle est lui aussi étudié, en particulier la manière dont les nouvelles propriétés émergent à partir des propriétés du niveau sous-jacent. Même si ces propriétés sont observées, certains pensent qu'elles sont contenues dans le niveau précédent, d'autres qu'elles émergent. Donc, malgré les avancées des sciences et l'apparition de disciplines qui étudient la complexité et les interactions, le débat holisme/réductionnisme est loin d'être tranché, et les postures thématiques perdurent.

La mécanique quantique est particulièrement concernée par ce débat par plusieurs aspects. Le fait que l'on dispose de lois différentes dans le monde microscopique et dans le monde macroscopique. Mais aussi par le fait que la mécanique quantique dépend beaucoup des contextes. Ainsi, pour Bohr, les propriétés d'un système dépendent de manière fondamentale des conditions expérimentales, y compris des conditions de mesure. Elles ne sont correctement définies que si l'arrangement expérimental complet est précisé. La définition d'un phénomène requiert d'ailleurs une description complète de l'expérience. Ainsi, on ne peut pas parler de la position d'un système quantique de façon générale (Boyer 2011). Enfin, en mécanique quantique, on est confronté à la non-individualité des particules, en particulier dans le cadre du paradoxe EPR que nous avons déjà vu.

ANALYSE DES ARGUMENTS

Tous les physiciens français ne valident pas l'existence d'une ultime théorie unificatrice, mais c'est le cas de la majorité. Pour défendre l'unification des théories, on trouve des attirances personnelles, non justifiables rationnellement, une attitude typique des *themata*. Ainsi, pour I.I, trouver une théorie unique serait « le rêve ». Pour J.J cela semble aussi plus cohérent : « qu'il y ait des connexions entre les niveaux, une forme de continuité ». Il fait remarquer qu'aux USA, les théoriciens unificateurs disposent du meilleur salaire. Comme une preuve que cela a un sens. N.X parle aussi de continuité : la nature dresse des continuités entre les différents niveaux d'échelle. U.R trouve que « ce serait triste qu'on ne puisse pas unifier la mécanique quantique et la gravité ». Il aimerait que ça converge. « Comment pourrait-on faire un monde avec plusieurs lois ? » J.I trouve qu'une théorie unificatrice serait plus élégante : « c'est plus élégant quand on se ramène à moins d'objets ». U.Y estime qu'il faut un critère minimaliste d'unification : « je ne pense pas que le monde soit schizophrène. » Pour lui, un monde sans

minimum d'unification serait schizophrène, ce qui correspond à une forte adhésion thématique en faveur de l'unité.

Certains argumentent par leur observation que l'histoire de la physique va vers plus d'unification. Pour F.I, La théorie unificatrice, c'est le but, tout ce qu'on fait est orienté vers ça. Elle existe. Toute l'histoire de la physique nous montre qu'on simplifie de plus en plus. Selon U.Y, l'histoire des sciences est une histoire d'unification des théories. J.I l'unification est un pari qui, historiquement, a marché. D'autres font le constat inverse. Preuve que cette conception est bien une attitude thématique, c'est-à-dire motivée par des valeurs personnelles et souvent inconscientes.

À l'inverse certains physiciens indiens comme L.L disent qu'ils seraient tristes s'il existait une théorie unificatrice : « It would be the end of mystery », précise-t-il. Il aime la multiplicité, comme dans l'art.

Le théoricien I.U rejette l'idée d'une théorie unifiée et lui préfère celle d'un « unified framework », un réseau de théories. Ce qui l'intéresse c'est la notion de connexion, pas celle d'unification, dit-il. Pour la physicienne R.W, chaque niveau a ses propres lois. Ce qui est intéressant, exprime le physicien U.X, c'est l'émergence d'un niveau à l'autre. Il est aussi question de contextes en termes de niveaux d'observation. Aussi, explique la jeune physicienne L.K, tout dépend à quelle échelle on se place pour observer le système. D'après le physicien K.R, « There will definitely be a model that will explain more phenomena in a more 'unified' way, but there is certainly no end to how deeply you can describe nature. With every model comes limitations and more refinement is always required. It is (as far as I can see) a process that has no foreseeable end. I would refer you to Phillip Anderson's wonderful article *More is Different* » Cet article d'Anderson datant de 1972, *More is different* a été cité par 3 physiciens indiens différents, qui ne sont pas tous de la même discipline ! Il s'agit d'un texte qui donne de la valeur aux disciplines moins fondamentales comme la physique statistique, car à ce niveau d'organisation, des lois spécifiques en deviennent fondamentales dans le sens où elles concernent des propriétés non explicables par d'autres niveaux. Voici un extrait de ce texte : « The behavior of large and complex aggregates of elementary particles, it turns out, is not to be understood in terms of a simple extrapolation of the properties of a few particles. Instead, at each level of complexity entirely new properties appear, and the understanding of the new behaviors requires research which I think is as fundamental in its nature as any other » (Anderson 1972 p393). I.P Ne cherche pas une théorie unificatrice, il estime que tout dépend de l'échelle sur laquelle on se place. Lui travaille à basse énergie, c'est très différent, dit-il, des comportements à haute énergie. Ce sont d'autres lois. Il cite aussi l'article

d'Anderson. Il parle de propriétés émergentes à grand nombre de particules qui sont très différentes pour une particule seule. U.X pense que la question la plus importante est de savoir si tout peut être réduit, s'il y a dualité entre deux théories ou si on peut les réconcilier. Pour lui, ce qui est intéressant, c'est l'émergence d'un niveau à l'autre. Selon T.S. il n'est pas essentiel qu'une théorie soit unificatrice, par exemple la gravité et la quantique sont valables à différentes échelles et ce sont de bonnes théories. K.M insiste lui sur l'importance des propriétés émergentes issues de la mise en relations.

Nous pouvons donc voir que les physiciens indiens recourent davantage à l'idée d'émergence, et que dans tous les cas, les postures correspondent bien à des options philosophiques personnelles.

Si les physiciens français insistent davantage que les Indiens sur la simplicité, c'est sans doute qu'elle est pour eux, davantage synonyme de science. X.Z écrit à ce sujet dans une revue de vulgarisation scientifique : « la simplicité n'est pas seulement une valeur ou un argument pour la science sous forme de visée d'universalité, elle définit la connaissance. Connaître, c'est d'abord partager des méthodes d'anticipation de ce qui arrive, afin de les améliorer collectivement. Pour partager ces méthodes, il faut les rendre insensibles aux changements de lieu, de temps, d'état d'esprit, il faut, en bref, les fédérer autour de principes objectifs.[...] Comprendre, c'est étymologiquement « prendre ensemble ». Le projet d'unité n'est donc pas qu'une option pour la connaissance, il en est la source. La science hérite de cette source et la valorise »⁴⁴. La question posée à ce physicien par cette revue était : « la simplicité est-elle une valeur de la science » ?

De l'analyse des réponses à la question au sujet des briques fondamentales, nous pouvons constater que le refus de blocs élémentaires correspond bien à une attitude holiste. Et elle vient conforter la légère tendance française en faveur du réductionnisme. Le physicien indien K.L réfute l'idée de blocs élémentaires en faisant référence au physicien Geoffroy Chew qui a montré qu'il n'y avait rien de fondamental, chaque particule, comme les hadrons donnent naissance à d'autres particules, et se transforment sans arrêt. On est donc aussi sur l'argument de la transformation. N.J explique que tout est en interrelation. I.J aussi parle des interactions mais il ajoute en plus l'argument des frontières : « In our view, the error of much past thinking

⁴⁴ Comme pour les autres références textuelles, nous gardons l'anonymat.

lies in how the parts (which make up the whole) are counted and boundary conditions are listed. Can we even list the components ? ». I.P aussi parle de ces limites : « Quand vous prenez une molécule d'eau, vous avez des atomes de H, O eux-mêmes contenant des nucléons et des électrons. Mais vous avez aussi des forces d'interactions et des conditions aux limites. Cela dépend du contexte, et surtout de l'échelle d'étude. Donc, il n'y a pas de briques élémentaires à cause des transformations, des interactions, mais aussi du contexte et de l'échelle. Cela rejoint bien la question des lois fondamentales.

Certains chercheurs, même si ce n'est pas la majorité, dressent le constat d'un cloisonnement des disciplines dans le monde de la recherche en général. Mais pour les physiciens indiens, ce cloisonnement est rarement perçu comme négatif, il est généralement perçu comme nécessaire, inéluctable. « Dans les grandes études, par exemple, les gens parlent différents langages. Par exemple les gens de la matière condensée parlent souvent un langage fort différent du mien. Des mots similaires peuvent avoir une signification différente. Donc, si je veux changer, par exemple, mon étendue de champs de recherche, et travailler en physique de la matière condensée, ça me demandera un très gros travail, beaucoup d'effort, pour adopter ce nouveau langage », explique un phénoménologue (une discipline de la physique des particules) de Bombay. Dans les entretiens, on note très peu de jugements négatifs envers le cloisonnement. Nous pouvons l'attribuer au fait de voir les lois de manière contextuelle, comme dépendantes de chaque niveau d'échelle. Ce n'est pas la seule raison. Un physicien indien explique que les Indiens ont besoin de classer, cela les rassure. C'est donc peut-être une des causes profondes de l'absence de remise en cause du cloisonnement des disciplines : la peur, le besoin de restreindre son champ de travail, sa vision. L'interprétation que nous venons de proposer, du besoin de classer pour donner de la stabilité au monde, peut se relier au constat que fait le sociologue déjà cité, Amit Prasad, après avoir étudié la collaboration entre laboratoires de recherche en Inde sur l'imagerie par résonance magnétique : un sentiment d'infériorité expliquerait la peur de se confronter à d'autres. C'est en effet un constat que nous pouvons aussi observer dans les discours de quelques chercheurs interrogés. « Ici en particulier, notre groupe, il y a beaucoup de divisions. C'est dû à un complexe d'infériorité », dit J.L. Il semble que ce sentiment d'infériorité concerne spécifiquement les Indiens entre eux : « We are ready to collaborate with somebody else in US, somebody else in Germany...but not somebody in the country », dit encore K.X. Amit Prasad montre qu'une culture de non-collaboration existe en Inde, quelles que soient les disciplines et les institutions.

Un élément particulièrement intéressant dans le cas de l'Inde, concerne le fait qu'on y retrouve une différenciation disciplinaire qui va jusqu'à une différenciation géographique et langagière. Ainsi, raconte un physicien d'un centre de recherche de Bombay, « La langue officielle en physique théorique à droite du couloir est le bengali, et à gauche, dans le département de maths, la langue officielle est celle du Tamil Nadu, le tamoul ». La Tamil Nadu est l'Etat d'origine du célèbre mathématicien Ramanujan. Le Bengali est la langue parlée à Calcutta, qui fut l'ancienne capitale de l'Inde britannique (*British Raj*) jusqu'à 1912. La grande majorité des théoriciens en physique viennent du Bengale et plus précisément de Calcutta⁴⁵. La physique théorique est encore une matière privilégiée dans les études au Bengale, plus que les mathématiques (matière plus importante au Tamil Nadu) ou les autres disciplines scientifiques. Cela s'explique historiquement (comme nous l'avons expliqué p99). Nous ne pouvons donc trouver dans les arguments beaucoup d'éléments qui associent le cloisonnement disciplinaire au systémisme. Les arguments paraissent davantage liés à des facteurs socio-culturels et historiques. La première est que cette interdisciplinarité est déjà bien développée, le travail interdisciplinaire existe notamment en physique théorique et dans le cadre de projets expérimentaux de large envergure, comme les accélérateurs de particules ou la réalisation de satellites. La seconde, et sans doute principale raison, est que le travail interdisciplinaire n'est pas tant souhaité, car il n'est pas rassurant. D'une part, sur un plan épistémologique propre à l'Inde, le cloisonnement semble rassurant, et d'autre part, l'interdisciplinarité nécessite des habitudes collaboratives qui ne sont pas usuelles en Inde, notamment du fait d'un besoin de reconnaissance personnelle, de la part des scientifiques.

Néanmoins, les *themata* sont rarement conscients et il se peut que ce soit l'attachement au systémisme, à la variété des contextes et des lois associées, qui induise, inconsciemment chez les physiciens un plus grand attachement au cloisonnement disciplinaire. On peut analyser ces postures comme des arguments en faveur de la situation particulière de chaque niveau d'observation.

⁴⁵ Recensant les travaux de physique menés à Calcutta de 1907 à 1917, Raman lui-même observera : « Une véritable école de physique s'est constituée à Calcutta, qui n'a d'équivalent dans aucune autre université indienne et qui aujourd'hui encore ne supporte pas trop mal la comparaison avec celles des universités européennes et américaines ». Vers 1918, la Société de physique de Calcutta est créée sous le patronage de l'Université de Calcutta. » cité par (V.V. Krishna 2001 p256).

IV.G. CONCLUSION DE CE CHAPITRE. TABLEAU DE SYNTHÈSE PAR ANALYSE THÉMATIQUE

Nous avons, dans ce chapitre, décrit et analysé le cœur de notre thèse, à savoir, le positionnement des physiciens indiens et français sur leurs degrés de préférences thématiques. Voici les degrés d'adhésion thématiques des physiciens déclinés sous forme de tableau :

| Degré d'adhésion aux <i>themata</i> | Physiciens français | Physiciens indiens |
|--|---------------------|--------------------|
| Systémisme 1/réductionnisme 0 | 0,35 | 0,58 |
| Continuité 1/discontinuité 0 | 0,60 | 0,29 |
| Objectivité 1/subjectivité 0 | 0,48 | 0,29 |
| Déterminisme 1/indéterminisme 0 | 0,37 | 0,59 |
| Ordre 1/Désordre 0 | 0,39 | 0,60 |

Tableau 15 : Degré d'adhésion des physiciens aux différents *themata*, chacun étant calculé à partir de la fréquence de réponses aux questions incluses dans chaque *thema*.

Ce tableau se décline sous forme de chiffres. Mais, comme nous l'avons vu, l'essentiel de l'analyse s'est fait sur le contenu même des réponses des physiciens, que nous avons tenté de regrouper en grandes tendances. Ces réponses ont été plus étoffées que les grandes lignes de réponses qui nous ont permis de faire des catégories et des répartitions statistiques. Par les statistiques, nous schématisons simplement un ensemble de postures et de représentations bien plus complexes et étendues, dont nous avons à présent une vue d'ensemble. Cette vue d'ensemble rejoint les tendances exprimées dans le tableau 15, à savoir :

Les physiciens indiens apparaissent

- plus déterministes que les Français,
- plus attachés à l'appréhension discrète de la matière, et non comme un continuum,
- accordent un rôle plus important au caractère subjectif de la connaissance, et conçoivent la conscience davantage comme immatérielle,
- ont une approche plus systémique, des phénomènes naturels,
- les conçoivent davantage comme obéissant à un ordre auxquels ils ont davantage tendance à vouloir s'adapter que transformer.

Les physiciens français apparaissent

- plus indéterministes que les Indiens,
- plus attachés à l'appréhension continue de la manière, et non comme des éléments espacés,
- accordent un rôle plus important au caractère objectif de la connaissance, et conçoivent la conscience davantage comme matérielle,
- ont une approche légèrement plus réductionniste des phénomènes,
- perçoivent moins l'ordre derrière ces phénomènes, que les physiciens indiens.

Il nous faut à présent discuter ces résultats, pour rechercher une éventuelle connexion entre ces postures, et une éventuelle raison. La synthèse des ces résultats et les tendances qui semblent se dégager concernant les physiciens français et les physiciens indiens ont-elle une cohérence, peut-on en tirer des conclusions en intégrant les différentes tendances pour les Français d'une part et les Indiens d'autre part ? Nous n'allons pas y répondre dès à présent dans le chapitre qui suit, mais juste après celui-ci. Le chapitre qui suit est consacré à la question du lien entre préférences thématiques et choix d'interprétation des théories physiques. Plus précisément, les *themata* influencent-ils les physiciens dans leur choix d'interprétation de la théorie quantique, ou bien ne sont-ils que des sous-structures de leur pensée, sans répercussion sur leur travail de physicien ? Si nous introduisons ce chapitre avant la discussion sur les résultats des différences thématiques, c'est parce que nous pourrions inclure ses résultats dans l'ensemble de la discussion.

CHAPITRE V. LES *THEMATA* INFLUENCENT-ILS LES PHYSICIENS DANS LEUR ADOPTION D'UNE INTERPRÉTATION DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE ?

« La véritable contribution des cultures ne consiste pas dans la liste de leurs inventions particulières, mais dans l'écart différentiel qu'elles offrent entre elles » (Lévi-Strauss 1961 p76)

Nous allons, dans ce chapitre, évaluer l'influence des *themata* culturels sur l'interprétation de la physique quantique. L'adhésion à certains *themata* influence-t-elle le choix d'interprétation des physiciens au sujet de la théorie quantique ? Et existe-t-il des différences entre physiciens indiens et français à ce sujet ?

Ce qui ressort de l'analyse qui va suivre est qu'il existe peu de différences dans l'adoption des interprétations entre physiciens français et indiens, par contre, malgré les différences en termes de *themata*. Ceci devrait donc nous conduire à constater que les *themata* n'influencent pas les choix d'interprétation. En fait, ce n'est pas tout à fait le cas. Ils influencent les choix d'interprétation comme nous allons le voir, mais comme ce ne sont pas les seuls paramètres à avoir une influence, leur poids ne se fait que peu sentir.

D'après G.Holton, l'étude des *themata* des physiciens permettrait de comprendre comment se fait - ou ne se fait pas - la reconnaissance par les physiciens d'un nouveau modèle explicatif ou théorique. Celui-ci a d'ailleurs analysé le passage entre *themata* et activité de recherche dans le cas d'Einstein, Heisenberg, Weinberg et d'autres physiciens du siècle dernier (Holton 1981). Il

montre par ailleurs que des *themata*, profondément différents entre chercheurs n'empêche de les faire se rejoindre sur la plupart des points de physique ; «Einstein and Bohr agreed far more than they differed, even though they had profound *thematic* incompatibilities » (G. Holton 2005 p207).

Kuhn développe l'idée que les scientifiques perçoivent différemment les mêmes matériaux « Lavoisier a vu de l'oxygène là où Priestley avait vu de « l'air déphlogistiqué », et où d'autres n'avaient rien vu du tout. » (Kuhn 1962 p117). De même, les *themata* sont susceptibles d'orienter la vision qu'ont les physiciens des objets qu'ils étudient.

On peut supposer, comme l'a fait Holton, que les *themata* agissent dans les choix de modèles théoriques, lorsque l'adoption d'un cadre théorique plutôt qu'un autre se fait avec un « coût thématique », même s'il est parfois inconscient. C'est-à-dire par exemple, lorsqu'un modèle sera trop déterministe pour un physicien pour recueillir son adhésion. Celui-ci pourra justifier son choix sur des critères rationnels, même si ce ne sont pas eux qui le guident prioritairement. Il faudrait voir comment de nouvelles théories qui nécessitent de changer de *themata* sont moins bien accueillies. Bill Harvey a par exemple étudié comment le choix entre différentes interprétations d'expériences menées en physique se trouve connecté à des savoirs extérieurs (Harvey 1981 p96).

Le physicien E.Klein écrit au sujet des scientifiques : « lorsqu'ils font leurs calculs, ils n'ont d'autres soucis en tête que la qualité des prédictions auxquelles ces calculs conduiront. Dans ces moments-là, ils refoulent toute interrogation sur l'ontologie des calculs mathématiques, qui serait d'ailleurs malvenue (elle viendrait parasiter la pensée) » (Klein 1995 p96).

Mais la théorie quantique n'est pas faite que de mathématiques, elle contient aussi des concepts, par exemple ceux de système, d'interaction, de mesure, de distance, etc. L'interprétation est donc toujours sous-jacente, même s'il est possible d'utiliser la théorie sans se choisir l'une des différentes interprétations évoquées précédemment, on l'interprète toujours d'une certaine manière.

Quand plusieurs interprétations d'un ensemble de données sont possibles, si l'une des interprétations s'impose, la raison peut être liée à une meilleure compatibilité avec les faits établis par la science, mais il s'agit plus souvent de raisons extrascientifiques. Certains historiens ou sociologues des sciences mettent en cause des facteurs cognitifs ou esthétiques. Par exemple, J. Cushing (1994) a analysé les facteurs qui ont conduit au refus dogmatique de l'interprétation de De Broglie en 1927. Une de leurs explications est qu'il y a des facteurs internes (consistance logique, adéquation empirique), des facteurs externes (décision subjective

de ce qui est davantage compréhensible, métaphysiquement ou psychologiquement), l'environnement socioculturel et les contingences historiques. Ainsi, par exemple, un élément historique en faveur de l'interprétation standard est que ce fut la première à être proposée. D'après une de nos physiciennes interrogées, U.U. qui adhère à une interprétation non orthodoxe de la théorie quantique, « une ontologie n'est jamais démontrée, « elle est soit choisie par intuition soit choisie parce qu'on pense que c'est la meilleure, la plus utile »⁴⁶.

Pour vérifier l'influence de facteurs culturels liés aux *themata*, nous allons commencer par étudier quelles interprétations de la théorie quantique s'imposent le plus parmi les physiciens français et indiens. Puis nous chercherons l'explication des différences et ressemblances. Nous montrerons ensuite que les problèmes d'interprétation présentent des différences plus importantes dans les deux groupes, et qu'ils ne se répercutent pas toujours dans le choix d'interprétation. Ensuite, nous chercherons à évaluer l'influence des *themata* sur les choix d'interprétation, non plus pour les groupes nationaux, mais pour les physiciens individuellement, afin de mesurer l'influence des *themata*.

V.A. LES DIFFÉRENTES INTERPRÉTATIONS DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

L'interprétation présentée aux étudiants de physique dans les cours et les manuels est souvent implicitement l'interprétation dite « orthodoxe », issue de l'interprétation de Copenhague. Il y a sinon surtout une absence d'interprétation et l'hypothèse est faite que la fonction d'onde décrit complètement le système. La plupart des physiciens ne reçoivent jamais d'enseignement sur les interprétations alternatives pendant leur cursus universitaire. S'ils les connaissent (ce qui n'est pas la majorité), c'est par une démarche personnelle. Pourtant, comme l'écrit le physicien D. Home, « La question de savoir si cela vaut la peine d'étudier les interprétations alternatives de la mécanique quantique peut paraître, pour certains, un sujet totalement philosophique, largement dépendant de prédilections subjectives, pourtant ce n'est pas vrai. Il y a des raisons profondément physiques qui indiquent que le cadre standard (formalisme et interprétation) est

⁴⁶ Pour revenir sur les termes d'ontologie et d'interprétation, nous utilisons ici les deux, même si le sens est assez différent. L'ontologie s'attache à proposer de nouveaux concepts pour décrire le réel, comme par exemple dans le cas de la théorie quantique, le concept de « propriété physique » ou d'individualité. L'interprétation propose quant à elle un mode de mise en conformité de la théorie avec une description du réel. Elle a donc souvent besoin de se référer à l'ontologie.

fondamentalement inadéquat, bien que ses succès en termes de prédiction expérimentale restent, de manière surprenante, impressionnants »⁴⁷ (Home 1997 p37).

En fait, comme nous le montrons, il y a des raisons physiques, mais également subjectives qui justifient le développement des interprétations alternatives.

INTERPRÉTATIONS ORTHODOXE ET DE COPENHAGUE

Nous rassemblons ici deux approches de la physique quantique qui ont des points communs, mais qui ont cependant des nuances importantes, et que l'on amalgame souvent un peu rapidement en les englobant toutes les deux sous une même appellation, que celle-ci soit « interprétation de Copenhague » ou « interprétation orthodoxe ». Comme ces deux expressions sont souvent employées, nous les utilisons nous-mêmes. Mais il n'est pas inutile de préciser rapidement leurs différences. Ainsi, l'interprétation de Copenhague est étroitement inspirée de l'approche de Bohr⁴⁸ sur la question de la mesure alors que par l'interprétation « orthodoxe » est celle que l'on retrouve couramment dans les manuels. Il est le plus souvent possible de réunir ces deux approches, et quand nous y faisons référence, nous pouvons utiliser l'un ou l'autre terme. Précisons cependant qu'il existe des nuances importantes chez des physiciens ou des philosophes qui pourraient être classées dans une même de ces deux classes d'approches, mais c'est rarement le cas chez les physiciens que nous avons interrogés.

INTERPRÉTATION DES MONDES MULTIPLES OU DES MULTIVERS (OU MANYWORLDS INTERPRETATION (MWI))

Il s'agit d'une interprétation visant à résoudre le problème de la mesure, mais aussi celui du déterminisme (voir le chapitre consacré au *thema* déterminisme/indéterminisme). Elle a été proposée pour la première fois par Hugh Everett en 1957 (Everett 1957), sous la forme des « états relatifs », sans évocation alors des multivers. L'interprétation d'Everett de la fonction d'onde ne s'effondre pas lors de la mesure. Les états superposés continuent d'exister après la mesure dans des « univers » différents. D'après l'interprétation des multivers, l'observateur est

⁴⁷Traduction personnelle de “The question whether studying alternative interpretations is worth pursuing may seem to many to be an entirely philosophic issue, largely dependent on subjective predilections; however this is not true. There are strong physical grounds for suspecting that the standard framework (formalism and interpretation) of quantum mechanics is fundamentally inadequate, though its empirical success to date is questionably impressive”.

⁴⁸ Ce qui est désigné par « interprétation de Copenhague » est essentiellement une reconstitution réalisée par Werner Heisenberg tardivement qui ne traduit pas nécessairement le point de vue précis des autres physiciens supposés appartenir à cette école en particulier Niels Bohr. Voir au sujet du point de vue de Bohr (Zwirn 2000)

contraint, par le processus d'observation, de choisir l'une de ces alternatives qui devient alors partie de ce qu'il considère alors comme le monde "réel". Dans cette théorie, chaque événement est une bifurcation qui se produit dans un univers différent.

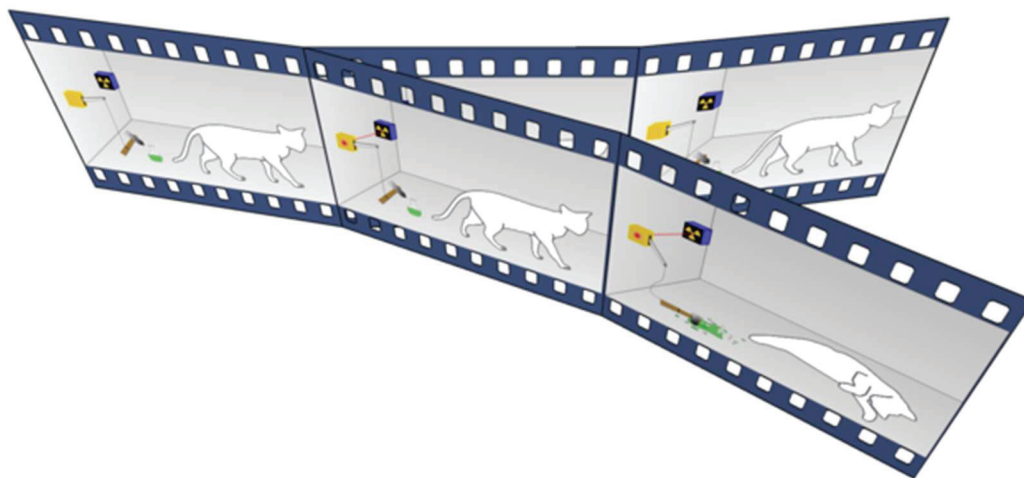


Figure 22: Le « chat de Schrödinger » selon l'interprétation des mondes multiples (MWD). Extrait de <http://podcastscience.fm> en septembre 2014.

Le chat est à la fois mort et vivant, avant même l'ouverture de la boîte, mais le chat mort et le chat vivant existent dans des bifurcations différentes de l'univers, qui sont tout aussi réelles l'une que l'autre. Source de l'image : Christian Schirm.

Cette interprétation lourde de conséquences s'est néanmoins vue défendre par des physiciens comme Bryce DeWitt et David Deutsch. Sous ses versions primitives, des objections assez accablantes pouvaient lui être faites : notamment le fait que rien ne semble justifier d'interpréter la fonction d'onde comme décrivant plusieurs mondes⁴⁹, mais également le fait que l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde, qui seule nous permet de faire des prédictions expérimentales, semble difficilement compatible avec une telle théorie. Cependant, de nombreux travaux visant à répondre à ces objections ont été réalisés durant les années 1990 et 2000 par des physiciens et des philosophes centrés à Oxford au Royaume-Uni, comme David Deutsch, Simon Saunders et David Wallace. La question de savoir s'ils y parviennent complètement reste d'actualité⁵⁰. Comme nous ne pouvons pas rendre justice à toutes les approches possibles, nous ne mentionnons pas dans ce texte les approches inspirées de celle d'Everett, mais qui n'assument pas une pluralité de mondes (par exemple l'approche des

49 Il y a une infinité de façons différentes de décomposer la fonction d'onde : qu'est-ce qui justifie de considérer que la bonne soit celle qui arrange les partisans de la théorie d'Everett ? Ce problème est usuellement nommé « le problème de la base préférée ».

50 Pour un état des lieux récents, voir (Saunders et al. 2010)

histoires décohérentes de Gell-Mann et Hartle, l'approche de Zurek ou encore l'approche des états relatifs de Rovelli, dont on peut penser qu'elles sont plutôt des variantes des approches de type pragmatistes, c'est-à-dire sans recherche d'une ontologie particulière).

INTERPRÉTATION DE BOHM, DES VARIABLES CACHÉES OU DE L'ONDE PILOTE

Dans cette théorie, la fonction d'onde n'est pas la description complète de l'état du système. Ce dernier est donné à la fois par la fonction d'onde habituelle et par les positions de toutes les particules : pour un système de n particules, l'état complet du système est donné par (Q, ψ) où ψ est la fonction d'onde et $Q = (q_1, \dots, q_n)$ dénote les positions des particules. Ce sont les « variables cachées » de la théorie. Dans cette théorie, la fonction d'onde évolue selon l'équation de Schrödinger habituelle, mais elle guide l'évolution des particules (d'où le nom d'« onde pilote »), en ce sens que la vitesse de chaque particule est déterminée par la fonction d'onde et les positions des autres particules (Bricmont 2000 p33). Historiquement, cette théorie fut initialement proposée par L. de Broglie. De 1926 à 1927, celui-ci affirma que la fonction d'onde pouvait être interprétée comme ayant un rôle dual : elle ne déterminait pas seulement les degrés de probabilité de position des particules, mais influençait aussi le comportement des autres particules en exerçant ce qui peut être appelé une « force quantique » sur elle (Home 1997 p38). Pour de Broglie, la fonction d'onde agissait comme une onde pilote pour guider la particule. Il essaya de formuler un modèle pour expliquer de quelle manière l'onde pilote guide la particule. À cette fin, il imagina la particule comme une singularité mathématique dans un second champ (agissant de manière non linéaire sur la particule) introduit en plus de la fonction d'onde, plutôt que de la traiter comme une particule localisée. Cette approche porte le nom aussi de « double solution ». Il en présenta une version élaborée au conseil Solvay en 1927. Il y eut une réaction négative assez générale. Il en fut si déçu qu'il abandonna cette piste. Plusieurs années après, en 1952, sans avoir connu les travaux de De Broglie, David Bohm proposa une approche similaire. Dans cette approche, chaque système individuel, en plus d'être spécifié par une fonction d'onde ψ , est caractérisé par une variable supplémentaire (désignée par, disons γ) qui, comme ψ n'est pas une quantité directement observable. Si γ est spécifié avec ψ , le résultat de n'importe quel

événement individuel est déterminé⁵¹. L'interprétation de Bohm a intéressé de nombreux physiciens et certains travaillent encore dessus.

Un physicien, U.R, défenseur lui, de la théorie de Bohm estime qu'elle résout d'autres paradoxes quantiques, comme celui de la mesure, mais ne résout pas le paradoxe EPR. « Dans la théorie de Bohm, la non-localité est transportée par l'onde. La fonction d'onde est donc non locale, le potentiel d'interaction entre particules est non local. Il faudrait des équations non linéaires pour relier les objets entre eux. C'est l'idée qu'avaient De Broglie et Bohm, ils imaginaient que les équations étaient tellement non linéaires que quelque chose pouvait affecter un autre point de l'espace de manière acausale comme si le signal allait plus vite que la lumière, mais ça pourrait être que c'est de notre façon de penser la causalité qui n'était pas bien formalisée, peut être que c'était une causalité qui venait du passé beaucoup plus loin. Il y avait des tas d'approches, par exemple Bell avait émis l'idée que les objets étaient corrélés par le passé, comme si c'était un complot de la nature de corrélés les objets. Je n'ai pas de réponse ». L'idée de Bohm, que n'évoque pas ce physicien, est que de telles particules intriquées ne sont pas des entités individuelles, mais qu'elles sont des extensions de la même chose fondamentale, facettes d'une unité sous-jacente, semblable à un hologramme. L'hologramme a la particularité de contenir dans chacune de ses parties, une version de l'image originale. Si l'hologramme d'une image est coupé dans sa moitié et est ensuite éclairé par un laser, on pourra retrouver dans chaque moitié l'image entière. Dans la conception que Bohm développa à la fin de sa carrière, l'univers lui-même serait une projection, un hologramme.

THÉORIE GRW D'APRÈS LES NOMS DE SES AUTEURS (G.C. GHIRARDI, A. RIMINI, ET T. WEBER), OU « COLLAPSE THEORY »

Il s'agit d'une théorie stochastique, où la fonction d'onde est réduite aléatoirement à tout moment, avec une faible probabilité pour un système microscopique. Pour un grand nombre de particules, comme dans un appareil de mesure, la probabilité d'une réduction devient grande. Dans sa formulation actuelle, la théorie souffre du fait que les paramètres qui caractérisent cette réduction probabiliste sont posés de façon à être en accord avec l'expérience donc de manière ad hoc. Elle a l'avantage cependant de résoudre le problème de la mesure : les « sauts quantiques » qui se produisent partout et tout le temps sont amplifiés à cause du caractère nécessairement

⁵¹ "In a hidden variable theory, each individual system, apart from being specified by a wave function ψ , is characterized by an additional variable (designated by, say, γ) that like ψ is not a directly observable quantity. If γ is specified with ψ , the result of any individual event is determined" Home, 1997, p.23.

macroscopique de l'appareil de mesure. Il n'a pas encore détecté d'effondrement spontané inattendu de manière expérimentale, mais cela peut être dû au fait que l'effondrement survient de manière rare. Les auteurs de cette théorie suggèrent que le taux de réduction spontanée pour une particule individuelle est de l'ordre d'un tous les 100 millions d'années (Ghirardi, Rimini, and Weber 1986).

Nous n'avons présenté ici que les 3 principales interprétations alternatives à celle de Copenhague, et nous les avons, de plus, exposées très rapidement. On pourra consulter différents travaux pour en savoir plus, notamment (Boyer 2011).

AUTRES INTERPRÉTATIONS

Outre ces interprétations, la GRW a été évoquée une fois. Une autre a été évoquée par un physicien, celle de Murray Gell-Mann et James B. Hartle. Il s'agit en fait de l'interprétation communément appelée « histoires consistantes ». Je ne l'ai pas présentée en détail ailleurs, car elle encore peu diffusée. Elle est utilisée en association avec la théorie de la décohérence. Elle est basée sur l'idée que des phénomènes macroscopiques irréversibles (par conséquent, toutes les mesures classiques) rendent des histoires automatiquement décohérentes, ce qui permet d'appliquer le raisonnement classique aux résultats de ces mesures. Comparée à l'interprétation de Copenhague, il y a surtout une différence principale qui se trouve dans la signification de la règle de réduction du paquet d'onde. Dans la nouvelle approche, la règle est valable, mais aucun effet spécifique sur l'objet mesuré ne peut en être tenu responsable. La décohérence dans l'appareil de mesure est suffisante. Les partisans de cette interprétation d'Histoires Cohérentes, comme Murray Gell-Mann, James Hartle, Roland Omnès et Robert B. Griffiths soutiennent que leur interprétation clarifie les inconvénients fondamentaux de la vieille interprétation de Copenhague et peut être utilisée comme un cadre d'interprétation complet pour la mécanique quantique. Le fait qu'elle soit peu citée ici montre qu'elle est encore peu considérée comme interprétation à part entière. Elle a été citée sur d'autres questions, voir le chapitre sur les états superposés par exemple, mais davantage comme une explication que comme une interprétation.

Nous avons vu que plusieurs physiciens français ont développé des interprétations basées sur une approche particulière de la contextualité. C'est le cas d'U.U qui s'efforce de reconstruire la mécanique quantique avec une ontologie différente, une autre façon de construire les états quantiques. « Peut-on reconstruire le formalisme avec des outils mathématiques minimaux ? »

Son interprétation s'appuie sur une notion de l'état qui n'est plus lié à des objets seuls, mais à des objets et des contextes (de mesure). Quand elle a découvert cela, elle a été soulagée, dit-elle, par rapport au problème de la mesure qui n'était du coup, plus un problème. L'astrophysicien U.Z est également attiré par une autre interprétation celle de Rovelli. Son problème d'interprétation principal « la brisure d'unitarité qui n'est pas contenue dans l'équation de Schrödinger » et l'interprétation de Rovelli apparemment résout cette brisure d'unitarité. Il y a aussi le problème du temps, estime-t-il. La mécanique quantique pense un temps externe, il existe un opérateur associé à l'espace, pas au temps, ce qui est refusé par la relativité ». Donc, là encore, pas vraiment des raisons thématiques.

V.B. LIEN ENTRE INTERPRÉTATIONS, PROBLÈMES ET *THEMATA* EN MÉCANIQUE QUANTIQUE

Chaque interprétation de la théorie quantique peut être vue comme une tentative pour ses auteurs de rendre la physique quantique compatible avec leurs préférences thématiques. Nous en avons, avec la collaboration d'A.Villa Valls, dressé un panorama dans un document mis en annexe que nous envisageons de rédiger sous forme d'article, dans une étape ultérieure (voir annexe 5). Nous y montrons par exemple que la théorie de Bohm est fortement objective (dans le sens donné plus haut à ce terme), l'interprétation des mondes multiples d'Everett est fortement déterministe, l'interprétation GRW indéterministe, etc. Dans cette analyse, mise en annexe, nous n'avons pas étudié l'ensemble des cinq *themata* proposés dans cette thèse : il nous manque ordre/désordre et systémisme/réductionnisme, qui ne s'appliquent pas vraiment aux enjeux des interprétations de la théorie quantique. Nous en avons d'autres comme le *thema* réalisme/non réalisme et le *thema* individualité (ou défini) /multiplicité (ou superposé). Le *thema* continu/discontinu est présent dans l'interprétation de la mécanique quantique, comme nous l'avons vu, mais il ne fait pas objet de débat pour les différentes interprétations, elles acceptent toutes la dualité continu/discontinu. Nous ne présentons ici que la place des deux *themata* (déterminisme/indéterminisme et subjectivité/objectivité), ainsi que le *thema* « défini/superposé » qui nous servira pour nos autres *themata*, dans les différentes interprétations.

| | Déterministe/Indéterministe | Subjectivité/objectivité | État défini/superposé |
|-------------------------------------|---|------------------------------------|-----------------------|
| Interprétation « orthodoxe » | Indéterminisme | objectivité faible ou subjectivité | Superposé |
| Interpétation de type Bohm | Déterminisme en général, mais n'exclue pas l'indéterminisme | Objectivité forte | Défini |
| Intepétation de type GRW | Indéterminisme | Objectivité forte | Défini |
| Interprétation de type MWI | Déterminisme | Objectivité forte | Superposé |

Tableau 16 : Proposition de tableau synthétique des inclinaisons thématiques issues des principales interprétations de la théorie quantique.

Explications : La théorie de l'onde pilote (type Bohm) possède par exemple toutes les caractéristiques de l'objectivité classique, avec le sujet connaissant qui peut se représenter l'état du monde en l'absence d'un quelconque observateur. Pour les théories GRW et MWI, la fonction d'onde universelle est également une représentation objective de la réalité. Dans le cas particulier de MWI, les différents observateurs sont cantonnés à la « branche » de la fonction d'onde dans laquelle ils se situent, et n'ont donc aucun accès épistémique aux autres branches. Mais si un tel observateur connaissait les conditions initiales de l'univers (ou plutôt du multivers), il pourrait en principe connaître l'état objectif de celui-ci. Concernant le déterminisme, pour l'interprétation d'Everett (MWI), l'aléatoire est un effet apparent relié à un certain observateur, la fonction d'onde globale (contenant toutes les branches) évolue de façon déterministe selon l'équation de Schrödinger. Cela ne correspond pas à la notion de « déterminisme caché », qui est souvent associé aux variables cachées, des mécanismes déterministes qui sous-tendent l'apparition d'événements objectifs quantique, comme dans l'interprétation de Broglie-Bohm.

Nous utiliserons ce tableau pour vérifier si les physiciens adoptent des interprétations qui favorisent leurs propres *themata*.

RÉPARTITION DES CHOIX D'INTERPRÉTATIONS

| Interprétation | Physiciens français | Physiciens indiens |
|------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Copenhague/Orthodoxe ⁵² | 30% | 31% |
| Everett/Manyworlds | 18% | 8% |
| Bohm/Onde Pilote | 8% | 11% |
| Aucune | 18% | 22% |
| Autre | 18% | 6% |
| Ne sait pas | 10% | 22% |

Tableau 17 : Répartition des préférences d'interprétation parmi les physiciens interrogés.

Dans le tableau, nous pouvons voir que les répartitions des choix d'interprétation de la physique quantique sont très proches entre physiciens indiens et français. L'approche pragmatique (orthodoxe/Copenhague) est importante pour les deux groupes. Les différences que nous trouvons entre Indiens et Français sont assez ténues, mais néanmoins intéressantes :

- Un meilleur accueil de l'interprétation des multivers (Everett/Manyworlds) par les Français
 - Une moins bonne connaissance des différents paradoxes et interprétations par les Indiens
 - Une plus grande variété des interprétations (cas « autres ») proposées par les Français.
- Grâce aux entretiens, nous pouvons décrire ces différentes propositions, qui sont surtout l'interprétation contextuelle et l'interprétation relationnelle qui n'ont été évoquées, ni l'une ni l'autre, par les physiciens indiens. Néanmoins, il faut souligner que ces deux interprétations ont été initiées par des Français, ou en tous cas, des Européens, ce qui explique sans doute qu'elles soient peu connues à l'étranger.

Nous pouvons expliquer la forte ressemblance grâce aux entretiens et à la fréquentation des séminaires sur le sujet de la physique quantique. Nous pouvons expliquer la ressemblance au sujet de l'adhésion à Copenhague ou à aucune interprétation. Cela se justifie par deux points :

- Nous avons ainsi pu constater que le sujet des interprétations est peu accaparé par les physiciens, qui ont, dans l'ensemble, tendance à utiliser la théorie sans vouloir à tout prix l'interpréter. Si les fondateurs des différentes interprétations de la mécanique quantique ont

⁵² On pourrait mettre certains physiciens qui optent pour l'interprétation orthodoxe, ou celle de Copenhague, dans la catégorie « pas d'interprétation », car nombre d'entre eux qui se revendiquent de ce type d'approche le font par défaut, c'est-à-dire parce que la question de l'interprétation ne les préoccupe pas. Mais des défenseurs de cette interprétation la soutiennent aussi en connaissance de cause. Ainsi, le physicien A.J ne pense pas qu'il y ait des interprétations radicales qui conviennent : manyworld ou bohmiennes, elles ont chacune leur problème, estime-t-il. C'est donc qu'il s'est intéressé aux différentes interprétations. Il y a certes dans Copenhague, dit-il, des problèmes liés à la mesure et la localité. Mais pour lui, la théorie quantique n'est qu'une théorie de la mesure. Pour le moment, il se satisfait donc de Copenhague et de la théorie de la décohérence.

bien eu à cœur de résoudre certains paradoxes et *themata* associés, il n'est pas certain que ce soit ce qui guide les physiciens actuels qui adhèrent à l'une ou l'autre de ces interprétations. En effet, assez peu de physiciens connaissent les théories alternatives à celle enseignée dans les manuels, l'interprétation orthodoxe. Ceux qui adhèrent à l'interprétation orthodoxe le font assez souvent – pas systématiquement- parce que c'est celle qui est traditionnellement enseignée dans les manuels et qu'ils n'ont pas connaissance des autres. C'est donc pour eux, plus un choix « par défaut ». Par exemple, le théoricien J.R dit qu'il avoue opter pour Copenhague sans y avoir vraiment réfléchi et sans connaître bien les autres. Pour le physicien X.K, son manque de connaissance des différentes interprétations et surtout le fait qu'elles ne le convainquent pas, le conduisent à opter pour l'interprétation standard, même s'il faut l'améliorer d'après lui. PX soutient également Copenhague/Orthodoxe, mais plus parce qu'il manque de connaissances, et il trouve cela dommage. « Il faudrait que l'enseignement nous pousse à connaître et à nous intéresser aux aspects philosophiques, sociologiques des sciences. J'ai écouté une émission de radio avec Turing, et il a une analyse passionnante. Les gens qui « vulgarisent » sont mal vus parmi les autres scientifiques, c'est dommage. Haroche par exemple, n'a pas de réflexion sur la mécanique quantique, c'est dommage. L'expérimentation éloigne de la réflexion en mécanique quantique. On ne s'intéresse qu'au caractère prédictible, au fait que ça marche ».

- La diversité des paradoxes et interprétations est fort peu enseignée dans les cursus scientifiques. Plusieurs physiciens interrogés ont suggéré que les travaux sur les interprétations non orthodoxes ne sont pas toujours valorisés dans le milieu académique (en physique) et cela semble jouer au niveau de la connaissance que les physiciens peuvent en avoir ou leur manière de revendiquer une préférence. La physicienne (U.U) rencontrée à Paris lors d'un des rares congrès sur les fondements de la théorie quantique estime que « depuis De Broglie, la recherche sur ce sujet est mal vue. Le laboratoire Kastler-Brossel s'est radicalisé sur *on fait la manip* »⁵³.
- Le travail des physiciens n'est pas ou plus du domaine épistémologique ni ontologique, et les paradoxes et interprétations relèvent, pour eux en tous cas, davantage de ces domaines. Et ils n'ont pas forcément envie de consacrer leur temps libre à cela⁵⁴ ! Si bien que les

⁵³ Une autre raison du manque de connaissances de ces sujets tient sans doute au fait que l'objet du débat a changé. Le physicien et philosophe Michel Paty estime que l'on est passé « d'une préoccupation pour l'interprétation en général à un intérêt plus précis pour la signification physique des grandeurs quantiques fournie dans la théorie quantique elle-même » (Paty, 2000,21).

⁵⁴ Pour le doctorant J.L, il n'y a pas d'interprétation préférentielle et il n'y a pas de problème non plus ! Ce qui compte, c'est que le résultat fonctionne. Pour lui, Copenhague n'est pas une interprétation, ce sont des équations. L'astrophysicien K.P dit : « We use it and we don't understand it ». Il ne s'occupe pas des problèmes de la physique quantique, car, dit-il, il a déjà assez de problèmes à régler comme ça sur son domaine de recherche !

physiciens (on ne parle pas des philosophes) qui s'occupent de ces questions et qui connaissent bien les aspects « fondements » de la théorie quantique sont

- Soit des physiciens retraités,
- Soit des physiciens passionnés par l'ontologie et qui trouvent à travailler sur ces sujets dans le cadre de leur poste de physicien élargi ou en dehors,
- Soit des théoriciens dont les travaux peuvent trouver un lien avec les fondements.

Sans généraliser, c'est ce que nous avons constaté parmi les physiciens rencontrés.

Les écoles « françaises » et « indiennes » de l'ontologie quantique

Il existe différentes écoles en philosophie de la physique quantique. Ainsi, on trouve l'« école française » souvent qualifiée de « non réaliste »⁵⁵. Il n'y a pas vraiment de tendance « mondes multiples » ou « contextualité » comme on pourrait le supposer à partir des entretiens. Cela s'explique parce qu'il s'agit d'écoles de philosophies composées de physiciens et philosophes. Donc, la tendance des physiciens français n'est pas forcément reflétée par la tendance des philosophes de la physique français ! Pour ce qui est des philosophes indiens de la théorie quantique, il semble, d'après les discussions que nous avons pu avoir, que leur préférence va davantage vers l'interprétation bohémienne, ce qui n'est pas ressorti non plus de manière flagrante des entretiens. Est-ce que les *themata* influencent ces tendances des « écoles » françaises et indiennes en philosophie de la physique quantique ? Pour ce qui est du non-réalisme français, nous ne l'avons pas étudié en tant que *thema*, donc, on ne peut pas se prononcer. Pour ce qui est de l'interprétation de Bohm, supposée plus populaire en Inde, elle est plus déterministe, plus objective, elle accepte la non-séparabilité et contourne la superposition. Or, les physiciens indiens ne semblent pas plus objectifs ni plus rétifs à la superposition. Par contre, ils sont plus déterministes, et plus ouverts à la non-séparabilité, donc, il est difficile de conclure.

Nous pouvons simplement dire que la tendance du monde des philosophes spécialistes du sujet ne reflète pas forcément celle des physiciens. Ces tendances concernent une poignée de spécialistes⁵⁶ qui ont peut-être orienté leur recherche dans ce sens par certaines rencontres, ou pour une raison culturelle, mais cette dernière serait, parmi les autres facteurs, bien difficile à

Cette attitude est communément appelée « shut up and calculate ! » (Tais-toi et calcule !).

⁵⁵ Le physicien X.Z, également philosophe, se revendique anti-réaliste, car écrit-il, « le réalisme, c'est l'hypothèse d'existence d'une réalité observable possédant des propriétés qui seraient indépendantes de l'observateur et de l'acte d'observation ».

⁵⁶ Pour information, les philosophes-physiciens en Allemagne sont plutôt reconnus comme bohmiens (mais pas le holisme mystique de Bohm). Les anglo-saxons sont plus everetiens.

déceler. Et même si des tendances nationales se dessinent au sein de ses « groupes de spécialistes », les personnes concernées sont trop peu nombreuses pour dégager de grandes différences suivant les pays.

Une autre manière d'évaluer l'influence de la culture des physiciens et de leur *themata* sur leurs interprétations est d'évaluer leur réaction face aux problèmes d'interprétation de la théorie quantique. Quels sont les problèmes d'interprétation qui les dérangent le plus ? Observons-nous une différence entre physiciens indiens et français ?

Nous allons analyser la position des physiciens face aux différents problèmes d'interprétation. Nous regarderons si des différences ou ressemblances se dégagent entre physiciens indiens et français.

LE VÉCU DES PROBLÈMES D'INTERPRÉTATION DE LA THÉORIE QUANTIQUE

Nous avons demandé aux physiciens à travers la question que nous avons appelée « problèmes », quels étaient pour eux, parmi les problèmes d'interprétation, celui ou ceux qui les interpellaient le plus (les différents problèmes d'interprétation de la mécanique quantique sont détaillés p110 à 113 et en annexe 5). Nous répartissons les résultats dans le tableau 18.

| Principal problème d'interprétation de la théorie quantique | Physiciens français | Physiciens indiens |
|---|---------------------|--------------------|
| Localité (EPR) | 21% | 7% |
| Mesure (perte de superposition) | 21% | 37% |
| Aucun | 8% | 37% |
| Autres | 50% | 20% |

Tableau 18 : répartition des réponses à la question « quel est le problème principal au niveau de l'interprétation de la théorie quantique ? ».

Explications : L'évocation de plusieurs problèmes était acceptée. Dans la case « autres », on trouve le lien avec la théorie de la relativité, la dualité onde-corpuscule, le caractère discret des quantas, la question du vide quantique, ou le rôle de l'observateur.

Ce que l'on peut remarquer de plus notable est que :

- pour les Indiens, bien plus que pour les Français, il n'y a pas de problème, autrement dit, la théorie quantique leur pose moins de problèmes d'interprétation. Ce n'est pas le cas pour tous les physiciens indiens, loin de là, mais cela l'est bien plus que pour les Français. Cela peut venir du fait que les Indiens sont encore moins initiés aux problématiques ontologiques dans leur cursus. Cette hypothèse est peu probable étant donné que les manuels sont sensiblement les mêmes (les deux groupes nous ont cité les mêmes références, notamment le Cohen-Tannoudji et les ouvrages de Feynman). Par ailleurs, les physiciens français ont bien souligné le manque d'enseignement sur l'ontologie quantique dans leur cursus, tout autant que les physiciens indiens. L'autre raison que nous envisageons, est que, dans certains cadres culturels, un élément peut apparaître problématique ou paradoxal, pas dans un autre cadre culturel. Nous l'avons en effet vu par exemple pour le paradoxe EPR et la non-séparabilité qui n'était pas aussi problématique pour les physiciens indiens que pour les physiciens français. Nous avons aussi vu que l'aléatoire était plus problématique pour les physiciens indiens que français. Le problème de la dualité onde/corpuscule est très rarement proposé par les Français, davantage par les Indiens. Nous avons analysé, dans le chapitre 4.C, à propos du *thema* continu/discontinu que les Indiens adhèrent plus au discret et les physiciens français accueillent mieux le caractère duel onde/corpuscule⁵⁷. C'est peut-être ce qui rend les physiciens indiens plus sensibles à ce problème.
- Quand on leur demande le principal problème soulevé par la mécanique quantique, les physiciens français sont nettement plus nombreux à répondre qu'il s'agit du paradoxe EPR (la non-séparabilité ou encore non localité). Ils ont d'ailleurs recours plus fréquemment à différentes interprétations ou théories pour sortir de l'impasse EPR, ou à recourir au non-réalisme, alors que les physiciens indiens acceptent davantage la non-séparabilité. Ainsi, certains physiciens français interrogés proposent une interprétation qu'ils ont conçue en attachant la fonction d'onde (d'une particule) à un système et à un contexte : « le problème (EPR) disparaît si on attribue les résultats conjointement à la particule et à l'appareil de mesure », explique la physicienne U.U. L'astrophysicien U.Z, évoque l'interprétation proposée par le physicien Carlos Rovelli, une interprétation causale et locale du paradoxe EPR, explique-t-il, avec une vision relationnelle. Le physicien PB évoque la théorie de l'espace temps fractale de Laurent Nottale. Dans cette théorie, dit-il, les particules ne sont pas localisées, le champ est partout à la fois. La non-localité fait partie de la théorie ! Un

⁵⁷ Cela pourrait aussi être l'effet de De Broglie et de son impact dans les manuels français de physique quantique, mais pour le vérifier, il faudrait faire une étude des manuels.

autre physicien français U.Y, adopte la théorie d'Everett, qui permet de dépasser le paradoxe EPR. « Il y a des régions de l'espace-temps qui sont enchevêtrées entre elles, donc non locales ». Les physiciens indiens ne recourent pas à des interprétations alternatives pour résoudre le paradoxe EPR. Cela ne semble pas dû au fait qu'ils connaissent moins ces interprétations, car nous avons vu qu'ils sont sensiblement aussi nombreux que les physiciens français à les défendre (cf. répartition des choix d'interprétations p182). Cela semble, par contre, dû au fait que ce paradoxe ne leur apparaît pas tant problématique (comme nous l'avons vu par ailleurs p136).

En conclusion, il semble donc que les *themata* interviennent dans la manière dont les problèmes sont perçus, et nous pouvons donc observer des différences entre les deux groupes. Concernant le passage au choix d'une interprétation, il s'agit d'une autre étape qui nous l'avons vu, révèle peu l'influence des *themata* de manière collective, notamment du fait du manque de connaissance des interprétations alternatives. Nous allons donc seulement pouvoir parler des cas individuels des physiciens, en particulier de ceux qui soutiennent des interprétations alternatives, et estimer, indépendamment de leur origine, de quelle manière les *themata* influencent leur choix d'interprétation. Par exemple, J.H, qui défend l'interprétation de Bohm, dit la défendre à cause du fait que : « Le problème central est que [...] le résultat d'une mesure individuelle ne peut pas être prévisible de manière unique et certaine ». C'est la recherche de déterminisme qui le pousse à opter pour cette interprétation. On peut donc supposer que le choix d'interprétation repose en partie sur ce qui est perçu comme problème majeur, ou *thema* le plus difficile à dépasser.

Nous allons observer que les adhésions thématiques semblent influencer individuellement le choix d'une interprétation, surtout quand il s'agit d'une interprétation non orthodoxe (pas celle de Copenhague). Nous allons aussi constater que d'autres paramètres influencent le choix d'interprétation et qu'une relation directe entre *themata* et choix d'interprétation n'est pas clairement visible. Donc, pour ce qui concerne les différences entre Indiens et Français, elles sont moins visibles dans le choix d'interprétations, car des paramètres individuels ont plus d'impact que les influences thématiques collectives liées aux origines.

QUI ADHÈRE À QUELLE INTERPRÉTATION DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE ?

Nous allons donc montrer ici comment le choix d'une interprétation est parfois réalisé dans le but de dépasser un paradoxe ou de satisfaire un *thema*. D'autres critères entrent en jeu comme

les exigences de simplicité, la connaissance des différentes interprétations ou la spécialité de recherche.

Simplicité pour Copenhague

Outre qu'elle est plus répandue, c'est davantage sa simplicité et sa prédictibilité qui semblent attirer les physiciens vers l'interprétation de Copenhague – davantage que leurs *themata*. Certains physiciens choisissent Copenhague non par défaut, car elle est traditionnellement enseignée, mais vraiment par choix. La physicienne des particules R.W dit avoir lu l'interprétation de Bohr et être d'accord avec, tout en connaissant les théories alternatives, mais adhère à Copenhague pour sa simplicité : « Copenhagen is the interpretation that I prefer, I know other ones, but Copenhagen is the simplest ». Pour le doctorant K.R, « The Copenhagen interpretation is definitely the most physically appealing ». L'interprétation de Copenhague fonctionne bien, selon K.M, qui connaît également certaines autres interprétations, et leur préfère celle de Copenhague. J.I choisit Copenhague par pragmatisme-dit-il : « J'adopte le point de vue de l'économie de moyens. Je prends la façon la plus simple de les penser ». L'étudiant de master N.C, a choisi volontairement d'adopter l'interprétation de Copenhague pour éviter le réalisme, il se dit « plutôt positiviste ». Réalisme/non réalisme est un couple thématique, il correspond à des attitudes de représentation du monde. Donc dans le cas de N.C, il y a bien une influence thématique sur le choix d'interprétation. Pour ce qui est de la simplicité, il ne s'agit pas d'un *thema*, car cela ne concerne pas une représentation sur le monde, mais cela concerne les préférences au niveau des outils. Certains physiciens adoptent Copenhague par rejet des autres interprétations. Ainsi, PQ ou L.I rejettent l'interprétation de Bohm, car ils estiment qu'il existe un aléatoire fondamental, cela correspond à un *thema*. L.I, qui est attaché au non-déterminisme interprète les résultats des expériences d'Aspect dans le sens qui correspond à son *thema* : « Il y a un aléatoire fondamental, c'est ce qu'a montré Aspect avec Bell. Il n'y a pas de variables cachées. » Mais tout ce qu'ont montré ces expériences, c'est l'absence de variables cachées « locales ». On peut supposer que son interprétation incomplète des résultats de ces expériences est liée à son attachement à l'aléatoire. À moins, qu'elle ne soit due à une méconnaissance du contexte théorique de ces expériences, ce qui n'aurait rien d'anormal, car le problème est complexe et que peu de physiciens ont eu l'occasion de l'étudier. W.W choisit l'interprétation de Copenhague, car, dit-il, celle d'Everett, des mondes multiples pourrait lui plaire, mais n'est pas vérifiable par les faits. Il opte donc pour l'interprétation qu'il considère a minima.

Chapitre V. Les *themata* influencent-ils les physiciens dans leur adoption d'une interprétation de la physique quantique ?

Enfin, il faut parler de la théorie de **la décohérence**, car, elle est citée par un certain nombre de physiciens. On ne peut pas vraiment la considérer comme une interprétation à part entière, c'est plus une théorie qui peut compléter utilement des interprétations, comme celle de Copenhague. Elle est basée sur l'idée que des phénomènes macroscopiques irréversibles (incluant donc les actes de mesure) rendent des histoires automatiquement décohérentes, ce qui permet d'appliquer le raisonnement classique aux résultats de ces mesures. Elle intervient au niveau de la réduction du paquet d'onde, au lieu d'une réduction provoquée uniquement par un acte de mesure, il s'agit d'une réduction spontanée, dont la durée est dépendante de l'environnement. Certains physiciens choisissent la décohérence parce qu'elle leur apparaît surtout comme un moyen de lever des contradictions de la mesure plus qu'une interprétation à part entière. Pour certains (J.Y, J.X, L.I), elle résout les derniers problèmes auxquels était confrontée la théorie quantique.

Le reste n'est qu'un problème d'analogie avec le monde classique. Pour le théoricien W.I, elle vient utilement compléter l'interprétation de Copenhague sur la question de l'observateur : « Copenhague accorde un rôle trop important à l'observateur, si on voulait appliquer la mécanique quantique à l'observation de l'univers, cela ne marcherait pas, il n'y a pas d'observateur possible pour tout l'univers. [...] Donc, vous voyez, cette histoire de la décohérence. Ce n'est pas seulement lié à la connaissance, épistémique, dans le cadre d'un grand récit de l'univers, cela prend un caractère ontologique ». Là, il semble que l'influence thématique intervient notamment sur l'objectivité.

Notons que la simplicité est pour les physiciens français un critère plus important pour le choix des théories. Nous l'avons remarqué en leur demandant quels étaient les critères les plus importants pour une théorie (voir question « théorie »).

| Critères d'une bonne théorie | Physiciens français | Physiciens indiens |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|
| Compatible avec les expériences | 40% | 47% |
| Beauté | 16% | 8% |
| Simplicité | 21% | 10% |
| Symétrie | 14% | 29% |
| Unité | 10% | 6% |

Tableau 19 : Répartition des réponses des deux groupes de physiciens indiens et Français au sujet des critères les plus importants pour une bonne théorie. Nous observons un peu plus d'affinité simplicité et d'unité pour les physiciens français.

Ceux qui optent pour l'interprétation de Bohm

L'interprétation de type Bohm est déterministe en général, mais n'exclut pas l'indéterminisme, elle est objective au sens fort, et l'état avant la mesure est considéré comme superposé (cf. tableau 16). Parmi nos physiciens qui disent préférer cette interprétation, peu cependant se rallient à l'ensemble de ces *themata*. L'un des physiciens interrogés, U.R., se rallie à l'interprétation de Bohm, et travaille même à son développement parce que, pour lui, le déterminisme doit être conservé. J.H aussi travaille sur son développement : « les états du système étaient définis avant la mesure, c'est ce que dit Bohm et c'est une des raisons pour lesquelles j'y adhère ». Il dit aussi que les avantages de l'interprétation de Bohm comparés à l'interprétation orthodoxe concernent le problème de la frontière micro-macro. Il est donc attaché dans le cas du *thema* réductionnisme/systémisme, à une théorie unificatrice (donc réductionniste). Il pense que les mises en causes du modèle de Bohm sont basées sur des préjugés, et ne sont pas fondées logiquement. Pour I.J aussi, l'interprétation de Bohm, en spécifiant les conditions aux limites fait disparaître les problèmes, notamment précise-t-il la superposition. Le physicien U.R soutient l'interprétation bohmiennne surtout parce qu'elle permet de rétablir le déterminisme dans la mesure, mais il lui faut encore résoudre le problème EPR.

Le post-doctorant J.N préfère l'interprétation de Bohm qui permet de comprendre le fait que l'électron – dans l'expérience des fentes- passe par les deux portes à la fois. Avec Bohm, explique-t-il, l'électron ne passerait que par une porte. L'état est défini et non superposé, ce qui correspond à un *thema* (que nous n'avons pas analysé, mais que la question « *avant la mesure* » permet d'approcher). Ces exemples sont ceux qui choisissent une interprétation qui correspond à leurs *themata*. Mais nous avons autant d'exemples inverses, de physiciens qui adoptent cette interprétation alors qu'ils n'optent pas pour les *themata* correspondants. D'autres qui peuvent avoir les *themata* correspondants, mais qui n'y adhèrent pas alors qu'ils la connaissent. Ainsi Y.Z dit qu'il n'adhère pas à l'interprétation de Bohm, car elle n'est pas relativiste, pas invariante sous les transformations de Lorentz. Une raison qu'il a l'air d'avoir réfléchi et qui dépasse apparemment l'influence liée aux *themata*.

On voit dans ces différents exemples que le choix de l'interprétation de Bohm ne repose que partiellement sur les préférences thématiques.

Interprétation d'Everett, manyworlds (mondes multiples ou multivers)

L'interprétation de type Everett est déterministe, objective au sens fort et accepte la superposition. Peu des physiciens qui la soutiennent penchent en faveur de ces trois *themata* en même temps. U.Y, un physicien qui soutient l'interprétation d'Everett, explique que « dans cette interprétation, il n'y a pas d'aléatoire ». Et il la choisit en partie pour cela. En fait, ceux qui disent la préférer ne sont pas totalement convaincus, le théoricien N.J la propose tout en ne s'en satisfaisant pas tout à fait, car ce qu'il faut dit-il, c'est un autre modèle. « To me, at the moment, quantum mechanism is only an hypothesis. It is not a complete theory It is a workable hypothesis rather than a complete theory ». Il estime que les interprétations peuvent être utiles en ce sens, mais il n'adhère pas totalement à celle d'Everett. Pour la cosmologiste I.J, cette interprétation est envisageable, car elle ne change rien au formalisme de la théorie. Le théoricien W.M l'évoque aussi. Mais il estime aussi que le problème d'effondrement dans le problème de la mesure est en partie résolu par la décohérence. On remarque que les physiciens qui soutiennent ces théories ne le font pas de manière résolue, c'est plus un « pourquoi pas », parmi d'autres.

Notons que seuls deux physiciens, l'un indien, l'autre français ont évoqué la possibilité des mondes multiples, à la Everett sur la question de l'observateur donc ce n'est pas l'objectivité qui les poussent majoritairement vers cette interprétation. Il peut y avoir d'autres raisons. L'étudiant U.N soutient Everett, car, dit-il « j'ai toujours cru qu'il y a plusieurs univers ». L'astrophysicienne H.I est ouverte à celle d'Everett, parce que les mondes multiples résonnent davantage avec sa discipline. Elle ne connaît pas bien la théorie néanmoins. U.Y choisit Everett parce que c'est celle qui lui paraît la plus simple. « Dans celle de Bohm tu rajoutes des choses au formalisme et elle n'est pas compatible avec la relativité, dans GRW idem. Alors qu'avec Everett, tu ne changes rien et c'est compatible avec la relativité ». Il lui semble que cette théorie trouve une issue à son problème principal qui est celui de la mesure, en particulier les différences entre micro et macro : pourquoi à partir d'une équation linéaire déterministe on obtient des résultats expérimentaux probabilistes ? On repère l'implication des *themata* « déterminisme/indéterminisme » et « systémisme/réductionnisme ». L.Q la choisit aussi parce que c'est pour lui la théorie la plus simple et belle. « Je me rabats sur des critères secondaires, car aucune n'est vérifiable expérimentalement. C'est cohérent. Si tu pars du principe que la fonction d'état décrit complètement le système, tu aboutis aux multivers. Il n'y a pas d'autre élément à ajouter à l'équation de Schrödinger ». Pour PZ, c'est la même raison : « Je ne crois pas à celle de l'onde pilote. Car aucun intérêt de complexifier alors qu'on peut être plus

simple. » Le choix se porte sur Everett, car elle lui semble intéressante, rigolote, car pas prenable épistémologiquement. « Elle est cohérente et inattaquable. Sort-elle du champ scientifique car non testable ? » Demande-t-il. X.P n'est pas contre celle d'Everett à condition qu'on ne la confonde pas avec celle des univers multiples. Pour lui la théorie d'Everett est celle de la conception de l'état relatif. Dans celle-ci, il supprime complètement les univers multiples. Ce sont, d'après lui, les nouveaux tenants de manyworlds, comme Sanders et Wallace qui parlent d'univers multiples.

Donc, il semble que ceux qui adoptent cette théorie ne la connaissent pas très bien, qu'ils le font pour sa simplicité, son originalité, sa cohérence. Les *themata* peuvent influencer, mais, pas seulement.

DISCUSSION SUR LES CHOIX D'INTERPRÉTATION

On pourrait comparer l'influence des *themata* sur la pratique des physiciens à un parcours dans la forêt : pour se déplacer d'un endroit à l'autre, on doit tenir compte des obstacles que l'on risque de rencontrer, mais ceux-ci ne déterminent pas notre décision d'aller d'un endroit à l'autre. Comme l'écrit Bronner à propos du social, les structures paramètrent, mais ne déterminent pas les actions des individus. (Clément and Kaufmann 2011 p4). Les physiciens, on l'a dit, comme n'importe qui, n'ont pas forcément conscience de leurs adhésions thématiques. Ainsi un de nos physiciens L.P dit : « Ma raison me dit de répondre non, mais je suis tenté de dire oui ». S'ils choisissent une théorie ou une interprétation, il y a peu de chances qu'ils disent ouvertement que c'est pour des raisons de déterminisme, d'ordre, etc.

Le fait d'endosser une théorie résulte d'une analyse en termes de coûts et d'avantages explique le sociologue G. Bronner (Bronner, *in* Clément et Kaufmann 2011 p53). « Un homme de science cesse de croire en une théorie, explique-t-il, dès lors que l'accumulation des objections rend trop « coûteux » le fait de le défendre. » Il prend comme exemple historique la théorie de Torricelli-Pascal du baromètre qui était plus facile à défendre que celle d'Aristote parce qu'elle n'introduit pas l'idée anthropomorphique que la nature a horreur du vide, et qu'elle prédit en rapport avec les faits que le thermomètre montera moins haut au sommet d'une tour que d'une montagne. « Je ne peux croire à la supériorité de la théorie de Lavoisier sur celle de Priestley que si je n'ai pas l'impression que les raisons qui fondent ma croyance sont de caractère privé » écrit Boudon, sur ce même exemple (Boudon, *in* Clément et Kaufmann 2011 p53).

Pour certains chercheurs se pose la question de la légitimité ou non de poursuivre telle ou telle théorie. Une telle décision peut se voir motivée par un examen systématique de sa fécondité au moyen d'une évaluation diachronique et comparative. D'après Bouveresse (2007), cette décision correspond à une « posture pragmatique » des rapports entre croyance et rationalité. Dans le cas des *themata* et de l'interprétation de la théorie quantique, il semble que ce soit le cas. Il faut aussi tenir compte du fait que ces interprétations sont trop peu connues pour développer un panel assez large. Notre échantillon est trop restreint pour se prononcer. Il faudrait soit l'élargir, mais le domaine de recherche est peu peuplé. Une autre option serait de suivre deux ou trois chercheurs dans l'ensemble de leurs parcours et analyser chacun de leurs choix d'objet de recherche.

V.C. CONCLUSION DE CE CHAPITRE

Nous observons que les *themata* interviennent dans la manière dont les problèmes d'interprétation de la théorie quantique sont perçus. Ce qui pose problème aux physiciens est souvent ce qui met en question leurs préférences thématiques, et la différence entre physiciens indiens et français apparaît assez nettement.

Par contre, pour ce qui relève du choix d'une interprétation de la théorie quantique, nous observons une faible influence des *themata* et une faible influence de l'origine (Indiens ou Français). Nous pouvons l'expliquer par le fait que les différentes interprétations sont assez mal connues et aussi par le fait qu'elles peuvent être choisies en fonction de paramètres individuels comme des rencontres, ou des lectures. Il semble donc que les différences entre Indiens et Français sur leurs *themata* (les styles thématiques locaux) ont peu d'influence sur le travail effectif des physiciens, sur le métier de chercheur.

Nous allons maintenant revenir aux conclusions du précédent chapitre, concernant les différences thématiques entre Indiens et Français, et discuter ces résultats.

CHAPITRE VI. EXPLICATION DES DIFFÉRENCES ET RECHERCHE DE CORRÉLATIONS

« La distance des sociétés qui ne sont pas les nôtres permet de voir ce que nous ne pouvons pas voir à partir d'un regard socio-centré » (Rouilleau-Berger 2011)

Quelles sont les raisons qui pourraient expliquer les différences que nous trouvons entre physiciens indiens et français concernant leurs *themata* ? Avant de rechercher les raisons au niveau historique et culturel, il convient de se demander si d'autres paramètres que la différence Indiens/Français n'auraient pas aussi conduit à des différences significatives. Si nous trouvons des différences par exemple entre les « moins de 40 ans » et les « plus de 40 ans », ou entre les « théoriciens » et les « expérimentateurs », alors soit notre mode d'analyse n'est pas assez significatif, l'échantillon pas assez large si bien que n'importe quelle division en deux groupes amène à des différences fortes. Soit les différences d'âge ou de discipline influencent autant que la culture et notre analyse sur la culture ne se révèle alors pas non plus aussi significative. Dans la première partie de ce chapitre, nous évaluons l'influence de ces deux paramètres. Ensuite, nous questionnons les corrélations entre *themata*. Est-ce que l'adhésion prononcée en faveur d'un *thema* est reliée à un ensemble d'autres *themata* ? Par exemple la préférence pour le déterminisme engendre-t-elle la préférence pour l'ordre ? Ces tendances finalement ne sont-elles pas incluses dans un système plus global de représentations ? À la suite de ces deux analyses, nous recherchons des raisons possibles aux différences thématiques liées à l'origine culturelle des physiciens.

VI.A. TROUVE-T-ON DES DIFFÉRENCES SIGNIFICATIVES AVEC D'AUTRES PARAMÈTRES QUE LES CATÉGORIES INDIENS/FRANÇAIS (ÂGE, DISCIPLINE, ETC.) ?

N'y a-t-il pas des d'autres paramètres (que l'origine culturelle) qui induisent des différences fortes sur les *themata* ? Par exemple, au lieu d'observer les différences entre Indiens et Français, qu'en est-il si on observe les différences entre classes d'âge ou entre type de disciplines de recherche ? On peut également s'intéresser aux différences thématiques induites par le genre, mais la faible proportion de femmes dans ces disciplines de recherche et dans nos échantillons ne nous permet pas d'étudier ce paramètre de manière pertinente. Nous allons nous intéresser à l'âge et à la discipline de recherche. Nos physiciens sont relativement bien répartis en termes de tranches d'âge et de disciplines.

ÂGE

Nous avons rassemblé dans le tableau 20 les réponses des physiciens en fonction de leur âge. Nous avons constitué deux groupes mélangeant Indiens et Français, et séparant les moins de 45 ans et les plus de 45 ans. Nous arrivons à des groupes de taille similaire (35 physiciens de moins de 45 ans et 37 de plus de 45 ans). Nous n'avons pas trouvé de différence significative (plus de 15% d'écart) en fonction de l'âge, sauf pour une seule question : « univers ». Nous n'avons pas pris en compte la question « Bell » pour des raisons que nous avons déjà évoquées, au sujet de l'ambiguïté des réponses sur la localité et la séparabilité. Nous remarquons que l'ensemble des réponses ne marque pas de différences nettes entre les deux groupes d'âge. Cette absence de différence marquante selon l'âge donne plus de poids aux différences observées selon l'origine (Indiens/Français) qui sont bien plus nettes.

| | 20-45 ans (n=37) | | | 45-70 ans (n=35) | | |
|------------------------|------------------|--------------|----------|------------------|--------------|----------|
| | déterminisme | Aléatoire | | déterminisme | aléatoire | |
| désintégration | 37% | 63% | 0% | 33% | 64% | 3% |
| | déterministe | Aléatoire | les deux | déterministe | aléatoire | les deux |
| Univers | 67% | 29% | 4% | 52% | 48% | 0% |
| | discret | Continu | les deux | discret | continu | les deux |
| microphysique | 51% | 31% | 18% | 50% | 23% | 27% |
| | défini | superposé | | défini | superposé | |
| Avant la mesure | 31% | 69% | 0% | 27% | 73% | 0% |
| | immatérielle | matérielle | | immatérielle | matérielle | |
| conscience | 36% | 64% | 0% | 50% | 50% | 0% |
| | trop | pas trop | | trop | pas trop | |
| disciplines | 53% | 47% | 0% | 50% | 44% | 6% |
| | Multiple | Unifié | | multiple | unifié | |
| Unification | 39% | 56% | 0% | 51% | 49% | 0% |
| | d'accord | pas d'accord | | d'accord | pas d'accord | |
| Heisenberg | 56% | 44% | 0% | 45% | 55% | 0% |
| | Ordonnée | chaotique | les deux | ordonnée | chaotique | les deux |
| ordre | 55% | 18% | 27% | 44% | 18% | 38% |
| | Adapter | contrôler | les deux | adapter | contrôler | les deux |
| contrôler | 47% | 17% | 37% | 51% | 22% | 27% |

Tableau 20 : Répartition des réponses en fonction de la classe d'âge : de 20 à 45 ans (37 physiciens) et de 45 à 70 ans (35 physiciens). Nous observons très peu de différences entre les réponses des deux groupes d'âge. Seule la question « univers » montre une différence supérieure à 15%.

Nous ne constatons pas de différences au niveau des styles thématiques entre les plus jeunes et leurs aînés. Nous remarquons par contre que la jeune génération de physiciens semble plus téméraire et plus critique envers les traditions que les aînés. Et en même temps, ils se montrent attirés par leur histoire savante et spirituelle, et les valeurs différentes qu'elle peut leur apporter (cf. annexe 11). Nous pouvons aussi observer dans les différents parcours des physiciens indiens interrogés, l'évolution d'une profession, à l'origine occupée principalement par des classes cultivées, des hautes castes et/ou des milieux de gauche, issues des villes, et en particulier du Bengale et de Calcutta, voire de l'Inde du Sud, qui petit à petit attire des gens des grandes villes, de milieux sociaux et régionaux variés. On trouve également une jeune génération de chercheurs indiens, qui se juge elle-même plus individualiste que les aînés, plus ambitieuse aussi. Elle semble aussi avoir davantage confiance en elle. Les aînés font le même constat sur elle. Le physicien L.X juge les jeunes plus individualistes : « ils veulent avoir leur équipe de recherche avec leurs étudiants. Il y a une perte du travail collectif, une mise en avant des égos. Et puis, ils sont davantage attirés par l'argent. Or le métier de chercheur est moins lucratif que celui d'ingénieur. Depuis l'ouverture de l'Inde au libéralisme économique en 1991, la société est devenue beaucoup plus consumériste. La qualité des étudiants diminue, car il y a beaucoup de nouveaux IIT et un manque de bons professeurs. En plus les meilleurs étudiants choisissent des carrières lucratives. La motivation pour la recherche diminue ».

DISCIPLINE ?

Nous avons comparé dans le tableau 21 les réponses des physiciens en fonction de leur discipline de recherche, pour étudier l'influence de ce paramètre. Nous n'avons pas pu faire autant de groupes de que de disciplines, car elles se révèlent trop diverses, et nous n'aurions pas assez de représentants pour chaque discipline. Par contre, nous avons pu comparer les expérimentateurs et les théoriciens, délimitant ainsi deux grands groupes. Nous avons mis de côté les phénoménologistes⁵⁸ et les astrophysiciens, ainsi que les étudiants de master qui ne sont pas clairement identifiés comme expérimentateur ou comme théoricien. Nous avons ainsi deux groupes plus réduits, constitués de 25 expérimentateurs et 31 théoriciens. Là encore, nous

⁵⁸ Les phénoménologistes sont à la jonction entre physique théorique et expérimentale. Ils tissent un lien entre les modèles mathématiques de physique théorique (comme la théorie quantique des champs ou de la structure de l'espace-temps) et la physique des particules expérimentale.

pouvons constater que les différences entre les deux groupes sont très faibles, ce qui confirme le caractère significatif des différences entre Indiens et Français.

| | Expérimentateurs | | | Théoriciens | | |
|------------------------|------------------|--------------|----------|--------------|--------------|----------|
| | déterminisme | aléatoire | les deux | déterminisme | aléatoire | les deux |
| désintégration | 31% | 69% | 0% | 36% | 61% | 3% |
| univers | 62% | 38% | 0% | 73% | 27% | 0% |
| | discret | continu | les deux | discret | continu | les deux |
| Microphysique | 53% | 28% | 20% | 56% | 29% | 12% |
| | défini | superposé | | défini | superposé | |
| Avant la mesure | 17% | 83% | 0% | 30% | 70% | 0% |
| | immatérielle | matérielle | | immatérielle | matérielle | |
| conscience | 49% | 51% | 0% | 40% | 60% | 0% |
| | trop | pas trop | les deux | trop | pas trop | les deux |
| disciplines | 55% | 41% | 4% | 52% | 44% | 3% |
| | multiple | unifié | | multiple | unifié | |
| Unification | 35% | 65% | 0% | 44% | 56% | 0% |
| | d'accord | pas d'accord | | d'accord | pas d'accord | |
| Heisenberg | 54% | 46% | 0% | 46% | 54% | 0% |
| | ordonnée | chaotique | les deux | ordonnée | chaotique | les deux |
| ordre | 53% | 8% | 39% | 44% | 21% | 35% |
| | adapter | contrôler | les deux | adapter | contrôler | les deux |
| Contrôler | 42% | 30% | 27% | 55% | 22% | 23% |

Tableau 21 : Répartition des réponses en fonction de la catégorie de discipline de recherche (31 théoriciens et 25 expérimentateurs). Nous observons une grande similarité entre les deux groupes (différence toujours inférieure à 15%).

I. Hacking estime que les styles de raisonnement – et les questions ontologiques liées, du type déterminisme ou indéterminisme, continu ou discontinu -, sont dus aux objets de recherche. « C'est ce qui rend possible, en contrepartie, les interminables débats ontologiques caractéristiques de chaque domaine » (par exemple entre platonisme et nominalisme) (2003 p546). Ce serait donc la nature de ces objets qui induirait la nature des débats ontologiques et donc des *themata*. Par exemple, le débat sur la continuité est introduit par la recherche de particules élémentaires. Le débat sur le déterminisme ou le réductionnisme par la recherche de

lois générale. On peut donc supposer que chaque *thema* est introduit par les objets qui nous sont nécessaires (en physique). Les objets sur lesquels travaillent les physiciens seraient donc porteurs de *themata*, *a priori* universels. Jean-Michel Besnier, dans son ouvrage *La croisée des sciences*, a étudié les options philosophiques associées aux objets de la physique, tels que le champ, le quanton (voir figure 23). Ces postures sont la continuité, la causalité, et elles ressemblent fortement à nos *themata*. Il rejoint le point de vue de Hacking, selon lequel les objets inventés par les physiciens portent en eux les débats ontologiques associés, chacun de ces objets correspond à une option philosophique. C'est un sujet d'étude qui mériterait aussi approfondissement (Besnier 2006).

| OBJET | Point matériel | Champ | Molécule | Quanton |
|------------|----------------|-------|----------|---------|
| Réalité | Oui | Oui | Oui | Non |
| Continuité | Non | Oui | Non | Oui/Non |
| Localité | Oui | Oui | Oui | Non |
| Causalité | Oui | Oui | Non | Non |

Figure 23 : Options philosophiques associées aux objets de la physique (Besnier 2006)

« Il ne faudrait pas oublier les options philosophiques qui se cachent plus ou moins derrière les principes du physicien. On voit par exemple dans le tableau que les présupposés d'une théorie du champ comme la relativité : réalisme, déterminisme, localité, continue, sont diamétralement opposés à ceux de la mécanique quantique. Or les vrais principes doivent être également valables pour toutes les théories, l'alliance des deux monuments du XX^e siècle n'est pas pour demain. [...] Alors il faut spéculer pour découvrir enfin les vrais principes de la nature, des principes qui ne se démontrent pas à partir des lois empiriques générales existantes, et qui imposèrent toutes les lois de la physique passée, présente » (Besnier 2006 p34).

On pourrait supposer que, puisque chaque discipline de recherche utilise des objets spécifiques (les « champs » pour les théoriciens des champs, par exemple), elles sont supportées par des *themata* spécifiques, reliés à ces objets (les champs par exemple invitent à une vision continue de la matière). Le physicien J.I émet ainsi l'hypothèse « qu'il existe des réponses différentes en fonction des domaines de la physique. En matière condensée, c'est très chaotique. Dans les expériences, on n'est jamais tout à fait à l'équilibre, donc c'est très rare la matière à l'équilibre. Même dans les solides les plus propres, il y a toujours des impuretés, pas d'ordre parfait. Un physicien des particules ne verra pas les choses de la même façon, il les verra plus ordonnées, plus symétriques ». Le physicien des particules PQ dit que sa représentation « discontinue » est sans doute lié à sa discipline, car il a vu des diagrammes en cours, et cela lui a laissé des traces. Nous remarquons que ce n'est pas le cas, les physiciens d'une même discipline n'adoptent pas les mêmes *themata*. De même le fait d'être expérimentateur ou

théoricien n'induit pas de différences significatives sur les représentations du réel. D'après les physiciens rencontrés, cela s'expliquerait par le fait qu'ils ne choisissent pas tous de devenir expérimentateur ou théoricien, cela repose sur des compétences précises, ou sur des opportunités, davantage encore que les goûts de chacun. Nous pouvons aussi supposer que les *themata* sont ancrés tellement profondément chez un individu que ce n'est pas un objet ou une discipline de recherche qui peut lui en faire changer. Nous pouvons difficilement, comme dit plus haut, faire des analyses en fonction des disciplines spécifiques, à cause de leur variété. De plus, plusieurs physiciens ont changé de disciplines. Y.R était physicienne des particules et elle a récemment choisi de changer pour l'astrophysique. Il y en a d'autres dans son cas, pour des raisons que nous n'explicitons pas ici. Elle dit : « les caractéristiques de l'objet dépendent de la résolution du microscope ». Si les physiciens des particules répondaient tous « discret » et les théoriciens des cordes ou de la matière condensée « continu », on pourrait supposer que la discipline joue en effet. Par exemple PZ estime que « pour un théoricien des champs, les particules ne sont que les singularités du champ », Mais beaucoup de disciplines de la physique utilisent la théorie des champs quantiques. De plus, on a vu que tous ceux qui travaillent sur ce sujet ne relèvent pas pour autant du continu, et qu'un champ peut être perçu comme continu ou discret. Donc la discipline ne contrebalance pas la tendance indienne pour une vision « discrète » de la matière.

Existe-t-il un lien entre les choix d'interprétation de la théorie quantique et la discipline ? Un chercheur Bohmien, a dit que souvent, d'après lui, les Everetiens étaient cosmologistes, car Everett a construit sa théorie dans un objectif cosmologiste. Nos données nous permettent-elles d'observer si ceux qui sont favorables à l'interprétation d'Everet sont plutôt des cosmologistes ? C'est vrai pour l'Inde, les Everetiens sont théoriciens en théorie des cordes, ou en gravité quantique, ou étudient les trous noirs. Pour la France, c'est un peu moins le cas, mais les Everetiens de nos entretiens sont souvent des étudiants, non encore bien orientés dans une discipline, ou des gens qui s'intéressent à la philosophie quantique, en dehors de leur métier de physicien. Il y a aussi des cosmologistes ou astrophysiciens. Ce sujet mériterait davantage de recherches.

Conclusion de cette sous-partie

En conclusion, il ressort que nous ne trouvons pas de différence significative entre les « moins de 40 ans » et les « plus de 40 ans », ni entre les « expérimentateurs » et les « théoriciens ». Ce qui conforte la pertinence de notre analyse, et justifie que nous nous intéressions maintenant aux raisons possibles des différences que nous observons selon l'origine culturelle.

VI.B. ELÉMENTS D'EXPLICATION DES DIFFÉRENCES THÉMATIQUES, EN TERMES D'HISTOIRE CULTURELLE ET SAVANTE

Nous proposons maintenant des éléments d'explication des tendances thématiques observées. L'élaboration d'un modèle s'appuie souvent sur le constat souvent étonnant d'un contraste et invite ensuite à en rendre compte en s'interrogeant sur ses significations (Ardilly 1994 p286). Existe-t-il des raisons culturelles qui rendent les physiciens indiens plus déterministes que les Français ? Plus attachés à une vision discontinue, ordonnée, systémique ? Plus enclins à attribuer un rôle à l'observateur ? Il existe probablement des raisons personnelles, dues aux aléas de l'histoire individuelle qui expliquent les préférences des physiciens – les *themata*. Mais les différences que nous observons entre les deux groupes laissent supposer qu'il existe aussi des raisons collectives et culturelles, et ce sont elles que nous recherchons ici. Comme l'écrivait G. Holton, « Also, most of the *thematic* currents at any time are not newly minted, but adapted from predecessor versions of the world picture, just as many of them will later be incorporated in subsequent versions, as they evolve further » (Holton 2005 p209). Holton suggère donc que les *themata* des individus sont hérités de leur passé, de visions antérieures du monde, même s'ils les font évoluer. Les *themata* de nos physiciens sont sans doute issus en partie des *themata* de leurs prédécesseurs, ou du moins ils ont exercé une certaine influence. Et l'on peut remonter ainsi dans l'histoire culturelle et scientifique⁵⁹ de chaque pays. Et nous avons, dans le chapitre II, décrit les spécificités de cette histoire scientifique en termes culturels et philosophiques, dans le cas de l'Inde et de la France. Nous allons pouvoir y revenir pour tenter de déceler des raisons aux différences thématiques.

DÉTERMINISME

Nos physiciens français apparaissent bien moins déterministes (coefficient de 0,37) que les Indiens (0,59). Quelles peuvent être les raisons de cette différence ? L'histoire du déterminisme dans la pensée savante française est pourtant très notable. Descartes ou Laplace ne sont-ils pas de grands représentants de la pensée déterministe ? Nous ne prétendons pas ici faire une analyse de la pensée déterministe en France ou en Europe, et de ses enjeux épistémiques, cela va bien

⁵⁹ On pourra préférer le terme d'histoire « savante », car le terme de « science » est parfois attribué à ce qui a succédé la révolution scientifique née en Europe, et qui exclue les périodes anciennes, ou les zones géographiques telles que l'Inde

au-delà de nos prétentions. Mais nous avons néanmoins besoin de comprendre le « background » épistémologique dans lequel baignent les physiciens français. Descartes a « fait de l'univers matériel un mécanisme infini où tout se produit selon les lois de la mécanique et de la géométrie. C'est le règne du déterminisme le plus rigoureux : les lois mathématiques ne laissent place à aucun hasard, elles-mêmes se déduisent avec une logique parfaite de quelques notions bien claires » (R.Descartes, *De l'Homme*, éd. Cousin, 1824, t. IV, p428 cité par Noël 1905). Si la préférence philosophique des physiciens français ne penche pas en faveur du déterminisme, c'est que l'influence de la pensée cartésienne et déterministe est dépassée. Avec l'évolution des connaissances scientifiques, notamment en mécanique quantique, le déterminisme ne constitue plus une option philosophique privilégiée. Mais cela n'explique pas pourquoi les physiciens indiens eux, sont encore attachés au déterminisme. Ils ont sans doute d'autres influences propres : « leurs perceptions ont été modelées par une vision du monde qui pose une raison causale unifiante derrière tous les phénomènes » écrit Varma (Varma 2005 p189). Le philosophe des science Sundar Sarukkai explique que « for understanding determinism, I think the real question is the nature of time. The real challenge is the meaning of future. It is different if you think time is linear or circular. The future has not the same meaning. So determinism depends on your conception of time [...]. "Indian are more probably determinists because of the training of science in the country, and [...] also for cultural reasons. Karma theory contains lot of determinism. And also, they believe in fate, in astrology ». Un physicien interrogé, J.L, y fait référence : « le karma est très déterministe », dit-il Ces différences de « background » peuvent permettre d'expliquer pourquoi le déterminisme tient une place plus importante en Inde, mais elles restent des suppositions. Nous pouvons supposer que l'idée karmique est propice à une représentation déterministe. Non pas que nos physiciens indiens croient tous au karma même s'ils sont majoritairement de culture religieuse hindoue (pas forcément pratiquants), même ce concept fait partie de leur culture populaire.

S.Sarukkai parle aussi du « training » de la science dans le pays. Est-ce qu'il veut dire que l'enseignement de la science en Inde est encore ancré dans une vision déterministe ? Nous avons en effet observé chez les physiciens français une plus grande liberté dans la remise en cause des grands principes. On n'hésite pas à critiquer la notion même de « déterminisme », considérée comme anthropomorphique. Une attitude absente du discours des Indiens. Ceux-ci citent par contre les manuels, comme une référence : ce qui est écrit est admis (nous avons déjà vu cette tendance par exemple p71). On remarque aussi chez les physiciens indiens une conception marquée de l'importance de la causalité en science, la conviction que le monde physique doit être causal (« nous créons de la causalité en faisant de la science, c'est notre

manière de comprendre le monde, d'y introduire de la causalité » p124). La majorité des Indiens restent plus attachés aux bases plus conventionnelles de la science, dont le déterminisme est pour eux un pilier.

CONTINU

Nos physiciens indiens adhèrent bien plus au continu (coefficient de 0,29) que les Français (0,60). Y aurait-il des raisons culturelles ? Dans son ouvrage, « Concepts d'espace. Une histoire des théories de l'espace en physique » Max Jammer raconte la divergence des avis sur la discontinuité de la matière depuis l'antiquité gréco-latine (Jammer 2008). Or, cette divergence se retrouve aussi dans l'antiquité indienne ⁶⁰. Mais la réflexion indienne a fait une place bien plus grande à l'atomisme. L'Inde antique est l'une des premières sociétés connue à avoir pensé l'atome, peut-être même avant Leucippe et Démocrite, à travers notamment l'école du *Nyāya-Vaiśeṣika*⁶¹ qui a élaboré des théories basées sur les composés ultimes de la matière (Rabourdin 2012). « Disons plutôt à des atomes multiples. Car si la Grèce ne connut que ceux de Démocrite, puis ceux d'Épicure, l'Inde conçut des atomismes de la plus variée relativité. Les corpuscules du Jaïnisme, recelés dans des gaines protectrices (rapport de contenant à contenu comme chez Aristote), les atomes temporels des Bouddhistes, ayant la fugacité de l'instantané » (Cardoso de Castro 2008). Le background culturel indien semble plus fermement atomiste que le background gréco-latin. D'après Masson-Oursel, le *Nyāya-Vaiśeṣika* s'est, à partir du Moyen Age, imposé à tout Hindou cultivé par sa doctrine de logique et d'épistémologie; par suite sa physique, qui en est solidaire, est devenue très familière à tout esprit indien, même partisan d'une métaphysique anti-atomiste » (Masson-Oursel 1925 p348). Même Lilian Siburn écrit : « Dans la pensée indienne, le donné primitif est toujours discontinu » (Siburn 1989 p138). Cette ancienne particularité indienne est peut-être la raison sous-jacente du penchant actuel des physiciens en faveur d'une discrétisation de la matière.

ORDRE

Certains des physiciens interrogés, nous l'avons vu, sont à l'aise avec l'idée de désordre, d'autres, comme Einstein, estiment qu'il y a forcément un ordre sous-jacent. Il y a probablement

⁶⁰ L'atomisme de Démocrite date du V^e-IV^e siècle av. J.-C.. L'atomisme indien remonte à Kanada, auteur présumé (et probablement mythique) des *Vaiśeṣika-sūtras*, antérieur d'environ un siècle à Démocrite.

⁶¹ Les philosophies indiennes ont admis une sorte de jointure entre le discontinu et le continu *Ākāśa*. Il permet de penser la discontinuité. *Ākāśa* est comme un liant des particules indépendantes de matière. Avec *Ākāśa*, les objets ne sont pas absolument distincts, ils sont des parties d'un tout (Rabourdin, 2012).

des raisons personnelles derrière ces choix. Mais nous observons que les physiciens indiens sont, dans l'ensemble, bien plus attachés à l'ordre (degré d'adhésion 0,60) que les physiciens français (degré d'adhésion 0,39). Peut-on expliquer cette différence de préférence philosophique par des aspects culturels ? Le psychologue S.Kakar explique que « depuis des siècles, cette civilisation inculque à l'enfant que, même si nous ne le connaissons pas, le monde visible est régi par un ordre caché (Kakar et Kakar 2007 p64). La pratique des rituels⁶² est encore très développée en Inde. Or qu'est-ce qu'un rituel sinon une mise en conformité des comportements humains avec l'ordre de la nature ? L'univers est instable, en construction permanente par le jeu des forces opposées. L'équilibre n'est jamais durable et doit toujours être maintenu par quelque activité de l'homme. Cette activité consiste à établir des rituels, mais aussi à classer, mettre les choses à leur place. Chaque objet, chaque phénomène doit trouver sa place, de manière ordonnée » écrit l'anthropologue P.Descola (Descola 2005 p283) au sujet des sociétés de type « analogique » dans laquelle il classe l'Inde brahmanique. Nous avons vu, dans la partie IV.E, à travers la question relative à l'existence d'un ordre dans la nature, que la société indienne était imprégnée de la *jāti* -la logique des classes, de genres et d'espèces, dont les *jāti* humains (castes) sont seulement un exemple. Il existe une grande quantité de taxinomies de saison, paysage, temps ou qualités (et leurs bases matérielles), les goûts, les personnages, les émotions, les essences (*rasa*), etc. Chaque *jāti* ou classe définit un cadre, une structure de pertinence, une règle de combinaisons autorisées, un cadre de référence, une méta-communication de ce qui est et qui peut être fait (Ramanujan 1989). Grâce à cette logique des classes, l'équilibre peut être maintenu. Cette fascination pour le classement et la hiérarchie peut constituer une explication de la préférence philosophique des physiciens indiens pour l'ordre plutôt que le désordre ou le chaos.

SUBJECTIVITÉ

La différence entre physiciens indiens et français sur le *thema* subjectivité/objectivité est moins nette que pour les autres *themata* (0,48 contre 0,29). Les Indiens se montrent un peu plus subjectifs –ils accordent un plus grand rôle à l'observateur- que les Français. Sudhir Kakar, un

⁶² « Rituel » vient du sanskrit *ṛta* qui signifie « l'ordre cosmique » : ordre de la nature et ordre moral, les deux étant liés. Dans les traditions savantes, cet ordre est conçu comme une loi naturelle du retour régulier des phénomènes astronomiques, des saisons et de la mousson, particulièrement marqué en Inde. Elle vise moins la loi physique que la norme, moins l'ordre tout court que le bon ordre. L'idée d'ordre qui est toujours sous la menace d'un désordre ou *anṛta*, c'est le combat ininterrompu entre *Devas* et *Asuras*, Dieux et Démon. Donc les forces de destruction ne sont pas quelque chose de totalement extérieur au développement du monde, mais au contraire quelque chose de constitutivement indispensable tout comme le désordre est nécessaire à l'ordre.

psychanalyste indien explique que généralement, parmi les Indiens, il semble qu'il y ait une relation particulière à la réalité extérieure. En Inde, les objets n'ont pas de place séparée, une existence indépendante, mais ils sont intimement reliés au soi et à son état affectif. Zimmer loue les Indiens de ne pas aspirer à une objectivité qui distingue le soi du non-soi, l'intérieur de l'extérieur. Pour Darius Shayegan, « Dans les ontologies orientales[...], ce qu'on appelle si fièrement l'objet n'a aucun sens » (Shayegan 2003 p52). Nous avons par ailleurs vu dans le chapitre II que la revendication de la valeur de l'expérience vécue tient une grande place dans l'histoire des traditions savantes indiennes. Il y a une grande différence entre les lois de Kepler et la connaissance d'Abhinavagupta : les premières expriment un fait qui existe préalablement à son découvreur et indépendamment de lui, la seconde note une connaissance qui n'existe pas sans son auteur, qui lui appartient en propre et relève de lui à jamais. La connaissance d'Abhinavagupta est ce qu'il pouvait vivre et ce dont il pouvait rendre compte. L'objet est intimement lié au sujet qui l'observe (Filliozat 1958). Dans la plupart des *darśana* - école de pensée ou point de vue doctrinal -, le pôle objectif est si évanescent que finalement la connaissance suprême est celle d'une pure subjectivité, une vérité incommunicable (Belzille 2011). Cela vaut avec des variantes pour tous les savoirs développés dans l'Inde traditionnelle y compris ceux qui peuvent nous apparaître comme relevant des sciences exactes tels que les mathématiques ou l'astronomie. L'objet de la connaissance véritable est justement d'atteindre cette non-séparation entre l'observé et l'observateur (Arguillère 2005). Le philosophe S. Sarukkai revendique une spécificité empirique – c'est-à-dire basée sur l'expérience personnelle - aux traditions philosophiques indiennes. « There is a strong streak of empiricism in all Indian philosophical traditions », écrit-il. « Their view of knowledge is not based on an ideal notion of logical and mathematical knowledge. In contrast, both Indian logic and mathematics are themselves *empirical*. Experience is thus the ultimate grounding of all Indian formulations of knowledge » (Sarukkai 2012 p52). On peut supposer que ce choix philosophique ancien induit une tendance qui s'observe dans l'inconscient collectif, et qui ne sépare pas l'observateur de la connaissance.

SYSTÉMISME

Enfin, le *thema* systémisme/réductionnisme porte un penchant plus net des physiciens indiens en faveur du systémisme (0,58 contre 0,35 pour les Français). Nous avons longuement exploré la signification du réductionnisme dans la partie IV.F à travers la question de l'unification des lois et des connaissances contextuelles. Nous savons à présent que le réductionnisme est très lié à une représentation unifiée des lois, tandis que le systémisme s'intéresse aux lois

émergentes des différents niveaux d'échelle, des différents contextes et des relations nouvelles qui se créent dans chaque niveau, chaque contexte. Si les Indiens sont un peu plus attachés au systémisme, cela pourrait-il provenir d'un fond culturel partagé ? Nous avons vu dans ce chapitre IV.F, que les traditions savantes anciennes en Inde accordaient une grande importance aux contextes, et avaient rarement pour but la recherche d'une loi générale. Cela vient de l'idée que chaque expérience de connaissance est nécessairement liée à un contexte. L'acte de connaissance est un évènement singulier qui dépend du contexte, de la même manière qu'il dépend de l'observateur. Par ailleurs la pensée systémique s'intéresse davantage aux relations qu'aux objets en eux-mêmes. Nous retrouvons aussi ce penchant dans la culture savante indienne. Encore de nos jours, dans la médecine indienne (Ayurveda), il y a l'idée qu'un dérèglement de l'intérieur doit être soigné par la relation avec l'environnement (saisons, saveurs, etc.). « Les anciens penseurs indiens ont régulièrement théorisé sur les relations de grammaire, de musique, du droit et des affaires, en décrivant ces phénomènes avec la permutation des symboles verbaux ou algébriques qui ont longtemps été les termes analytiques de choix. Une logique de relations n'est pas si facile à énoncer à travers les formes propositionnelles de l'argumentation géométrique qui ont été favorisées pendant des siècles en Occident » écrit l'anthropologue Marriott (1990). Le souci de la pensée indienne pour les relations se retrouve de nos jours. Ainsi, explique Varma (2005), un Indien essaiera de résoudre un problème en regardant au-delà des petits détails vers une image plus vaste, qui pourrait révéler l'interconnexion basique des choses, car « Un Indien s'efforcera d'identifier une liaison de cause à effet comme un jeu de miroirs, cherchera un modèle rationnel dans la mosaïque des faits et considérera les données non seulement pour leurs éléments individuels, mais comme partie d'un réseau » (p190). « La réceptivité à l'interconnectivité des choses vient tout naturellement à un Indien » écrit-il encore, certes de manière un peu trop généralisante. « Sa métaphysique lui dit que, même au niveau de l'atome le plus petit, la matière fait partie d'un tout indivisible ; sa vie sociale lui fait comprendre qu'un individu s'inscrit dans un réseau de relations, de famille et de caste ». Cet intérêt pour les relations plutôt que pour l'objet en lui-même pourrait expliquer la faveur des physiciens indiens pour l'approche systémique.

En lisant trop rapidement ces passages, on pourrait croire que l'enjeu est de montrer que la conception indienne de la physique devrait être interprétée à partir des conceptions tirées de l'hindouisme. Surtout lorsque nous faisons référence à des corpus qu'on pourrait classer dans le courant hindou : Vaisesika, Nyana, Samkhya, Bhagavad Gita, Ramayana, Granita, Jyotisa,...). Il ne s'agit pas plus d'hindouisme que de l'islam, du christianisme ou de l'athéisme.

Mais du fond culturel indien. Qui est bien plus vaste que l'hindouisme. Certes ce dernier y tient une place prépondérante. Darius Shayegan explique que l'hindouisme s'est étendu progressivement pour englober toutes les mutations philosophiques, toutes les idées nouvelles qui émergeaient en marge de l'hétérodoxie brahmanique. Il les a d'ailleurs toutes assimilées à l'exception du bouddhisme et du jainisme qui, refusèrent l'autorité des Vedas (Shayegan 2003 p57). Surtout, les physiciens rencontrés sont hindous en très grande majorité, même si certains ne sont plus pratiquants. Ils ont tous lu la Bhagavad Gita par exemple. Quant aux textes « savants » auxquels nous faisons référence, il ne s'agit pas vraiment d'hindouisme (Vaisesika, Nyaya, Jyotisha, etc.) même s'ils se réfèrent au Véda. Tout comme pour les Français, la culture judéo-chrétienne implique plus largement que la Bible. Bien sûr, il existe des physiciens indiens non croyants tout comme il existe des valeurs indiennes extérieures à l'hindouisme.

VI.C. AUTRES PARAMÈTRES QUI INFLUENCENT LES RÉPONSES

Quels paramètres, autres que les *themata*, peuvent avoir guidé les réponses aux questions posées ? Nous allons étudier l'influence de paramètres sociaux tels que le respect de l'autorité, le manque d'autonomie et la valorisation du savoir théorique.

MANQUE DE CONFIANCE : JE DIS « OUI », CAR JE NE SAIS PAS

Il ne faut pas écarter l'hypothèse de paramètres culturels non thématiques, mais plus sociaux. Ainsi, il se peut qu'une bonne partie des physiciens qui acquiescent à la proposition d'Heisenberg sur la symétrie (cf. question p155), le fassent pour des raisons de respect dû à l'autorité, ou du fait d'une sous-estime personnelle, plutôt que par intérêt pour la symétrie : «I am no one to agree or disagree with that» furent-ils plusieurs à répliquer, tout en acceptant finalement de se prononcer. D'après S.Sarukkai, un philosophe des sciences indien anciennement physicien, interrogé sur la raison qui peut pousser les physiciens indiens à répondre oui, estime que « peut-être que les physiciens n'ont pas compris la question. Ils ont juste dit « oui » parce qu'Heisenberg est quelqu'un de célèbre et doit donc avoir raison. Ils ont un problème de confiance en eux. Les Français n'ont pas ce problème », estime-t-il. Il est incontestable qu'il y a une différence sur l'attitude des physiciens vis-à-vis du personnage d'Heisenberg et de la liberté prise pour le critiquer. Des physiciens français par exemple n'hésitent pas à dire : « Il s'est trompé sur pas mal de choses, mais les gens n'ont pas osé s'opposer à lui » (L.P). « Heisenberg n'a pas dit que des trucs bien ! » (H.I). Les discours des physiciens indiens ne sont pas aussi critiques. K.M insiste sur l'importance de la transmission,

et le respect du maître. R.K dit à propos d'Heisenberg : «That is a very big man. That is a very big statement. I am not so clued in all these things. But I have been sort of an observer of particle physics because we don't do that with other thing than basic knowledge. It is probably true, I believe, it's probably true ». Il fait donc appel à son expérience pour conclure sur la valeur de cette proposition d'Heisenberg, et pas seulement sur le statut de ce personnage. Il est possible que le respect traditionnel pour l'autorité ou le manque d'estime induisent une tendance dans les réponses, cependant, mais ce ne sont pas les seuls paramètres. Notre impression est que l'accord avec la proposition d'Heisenberg repose à la fois sur le respect d'une figure qui fait autorité dans le domaine, ainsi que sur l'accord avec sa proposition de prioriser la symétrie. Cette influence de paramètres sociaux comme le manque de confiance en soi peut influencer d'autres questions. Les physiciens remettent assez en question les concepts établis, ce que n'hésitent pas à faire les physiciens français. Ainsi E.T dit à propos des notions d'ordre ou de chaos : « Je n'aime pas ces notions. Ce sont des notions morales. Nous essayons de calquer quelque chose sur la réalité qui est telle qu'elle est ». Nous avons vu que les physiciens indiens insistaient sur la mentalité peu autonome en général de leurs confrères. Ce trait a été remarqué aussi par des sociologues des sciences comme Prasad. Dans un article publié en 2005, il montre, dans le cas de la recherche sur l'imagerie par résonance magnétique, qu'un sentiment d'infériorité expliquerait la peur de se confronter à d'autres chercheurs. Un des scientifiques qu'il a interrogé explique : « Si vous voulez choisir un mot qui caractérise la plupart des scientifiques indiens, c'est le fait qu'ils ne sont pas sûrs d'eux » (traduction de Prasad 2005 p481). Dans presque tous les laboratoires que Prasad a visités, les scientifiques ont toujours montré peu d'intérêt pour l'obtention de brevets. « Si vous donnez un problème à un scientifique indien alors il peut méticuleusement le résoudre. Mais il n'est pas enclin à produire des idées originales ou des problèmes pour lesquelles les Américains sont doués“ estime un scientifique indien interrogé par Prasad (Prasad 2005). Il y a aussi, semble-t-il, à ces attitudes de manque d'innovation et de confiance, une raison profondément ancrée dans les traditions indiennes de hiérarchie (Varma p224). L'astrophysicien Chandrasekhar constate dans sa biographie. « En Inde, la vieille tradition d'obéir sans discussion à l'autorité engendre une atmosphère peu propice au développement de la pensée scientifique » (Chandrasekhar, 1988 p35). D'après Varma, « Ils ont la capacité de faire plus, mais se contentent de vivre dans la stérile imitation. Les meilleurs étudiants des instituts de prestige sont plus doués pour obéir aux instructions que pour en donner » (Varma 2005). « Des siècles d'enrégimentement par groupes hiérarchiques ont mentalement asservi la plupart des Indiens. Ceci a émasculé leur capacité à se remettre en question et les a conditionnés à obéir plutôt qu'à innover. Leurs énergies sont concentrées sur

les possibilités d'ascension à l'intérieur d'un ordre hiérarchique prédestiné ; ils ne regardent pas au-delà de ces possibilités, et ne font rien de « non-conventionnel » qui pourrait perturber la structure acceptée des choses et les espoirs prévisibles qu'elle génère » (Varma 2005 p224). Pour les étudiants, cela se traduit par un effort minimal en dehors de l'écoute, de la lecture et de la mémorisation.

Ce manque de confiance serait donc peut-être lié à la forme hiérarchique du savoir. Mais il peut aussi être dû à la perte de connexion avec un passé qui fonde des valeurs communes. Le philosophe S.Sarukkai explique que les Indiens ont perdu confiance en eux, partiellement parce qu'ils ne peuvent pas, comme en France, se référer à des mathématiciens prestigieux, à des philosophes. Du fait du colonialisme, ils n'ont plus de connexions avec leur propre savoir ancien. Les sociologues Shiva et Bandyopadhyay ont également constaté qu'alors que la profession scientifique en Inde est la troisième plus importante au monde, elle ne constitue pas une communauté scientifique qui partage des valeurs et des engagements communs (Shiva and Bandyopadhyay 1980 p593). Nous avons montré qu'ils partagent des *themata* communs, mais pas pour autant des engagements communs.

Le physicien indien qui travaille en France, K.M, constate cependant que l'Inde cherche à capter tout ce qui se développe, les nouvelles tendances, etc. Et que par ailleurs, un grand nombre d'Indiens deviennent novateurs et entreprenants quand ils travaillent à l'étranger. « À l'étranger, certes il y a plus d'argent pour développer les potentiels, mais aussi les Indiens sont sous pression pour démontrer leur potentiel, et comme ils sont travailleurs, cela fonctionne. Exposés à une nouvelle structure de valeurs, ils peuvent aussi faire émerger leur créativité. Ils abandonnent leur préoccupation étouffante pour la hiérarchie. Elle est transmuée en un désir d'accomplissement personnel. La mobilité semble permettre aux physiciens indiens d'être plus créatifs à l'étranger, ils sont perçus comme des travailleurs passionnés lorsqu'ils sont à l'étranger ». La *brahman attitude*, telle que l'a qualifiée l'un des physiciens français F.I, reste plus forte en Inde, elle impose des formes de hiérarchie qui peuvent se révéler inhibitrices de créativité. Varma estime que le poids des conditionnements sociaux pèse sur la créativité des chercheurs davantage quand ils sont en Inde (Varma 2005 p220). Nous ne pouvons pas évaluer cette hypothèse précisément, car nous n'avons pas étudié cette question dans le détail, nous leur avons cependant demandé ce qu'ils changeraient dans le monde de la recherche prioritairement, et il est vrai que ces aspects sont souvent revenus dans le débat.

Plusieurs physiciens ont souligné le caractère étouffant des environnements de travail où on ne permet pas à de nouvelles idées de s'exprimer librement. L.T explique ainsi : « We do science because other do science. They don't have internal drive, that is why they don't master in

science. They don't believe in transforming person. [...] Indian are not doing very well in science, because they are submitted to a strong *thema* : they lack self confidence. There is a French mathematician who said, that the big deal is to find theorems, justify or demonstrate them are for 'imbeciles ». J.T décrit cette mentalité à sa manière : « I would not want to make very general statement, but I think that in general we can say that people in India are often more narrow in scope than USA. I don't know exactly, but they are quite sort of limiting scope, often. Not everybody but often ». Une journaliste scientifique indienne a écrit dans un article, *Beeing a scientist in India*, au sujet de la manière dont la science indienne est accusée de faire du « copycat science » dupliquant le travail déjà mené dans les pays occidentaux (Priyadarshini 2011). N.J explique : « in India we are following the west. Rather, we should pursue this on our own (have our unique methodology of research), ask the important questions which are of more concern to us. But I think this trend of research is prevalent elsewhere as well, the important questions which should concern us are imposed (upon us) by the west. I think, till the time this trend continues, the real science will not develop in this country. Until you ask your own view's questions and postulate on those basis ». « Why can't we ask some questions which is different from (the stated ones), questions which are essential to us, which we follow? Most of us just follow them (referring to the western theories). Let me give you an example: I think Indian scientists are not very good at continuing research on water etc, which are burning questions (important areas of development) for India. Not many Indian scientists are putting their efforts towards these kind of research ». Ces témoignages -qu'ils reflètent la réalité ou pas- montrent la place que prend la question de l'autonomie pour ces scientifiques, l'autonomie par rapport à des modèles extérieurs, et donc la confiance en soi. Le jeune J.L déplore également que les scientifiques indiens étudient ce qui est à la mode, ce qui vient de l'Occident : « si on leur disait il faut étudier les poubelles, ils le feraient » Ils manquent d'autonomie dans leurs choix. D'après la physicienne U.T, « If it is not you who built a computer, you will not try to work on it, you will protect it. And in India, when the first computers came from America, they didn't try to fix it, to touch it, there were retire their chooses, not to pollute it, they were doing rituals. We do not build computer here in India ». Quelles sont les raisons de ce manque d'autonomie ? Est-ce un effet post-colonial ? Nous avons en tous cas plusieurs scientifiques qui semblent de cet avis. Ainsi, U.T, physicienne, proche de la cinquantaine reconnaît qu' « un scientifique indien qui travaille en Inde ne se sent pas vraiment connecté à la communauté scientifique mondiale, à moins d'être une sorte de génie pour qui tout semble possible et accessible. Les Indiens sont plutôt défaitistes, timides. En Inde, on a peu confiance en nous, dû sans doute à des raisons historiques, mais aussi du fait de la

complexité de l'administration, tout est toujours difficile, donc, on ose assez peu prendre les devants. Un américain, lui, va arriver sans prendre de gants et tout prendre en main. » Selon L.T, « You must have a strong self confidence to propose a theorem that you can not demonstrate. Indians loss self confidence, partially because they don't have models, in their own history ».

Ces éléments seraient à développer dans une recherche propre. Nous pouvons constater, pour ce qui nous concerne, une convergence dans la reconnaissance d'une certaine inhabitation des physiciens indiens, qui peut avoir influencer en partie leurs réponses aux questions posées durant les entretiens.

IMPORTANCE DU SAVOIR ECRIT, INTEMPOREL ET THÉORIQUE

Une autre spécificité qui se dégage des physiciens indiens, est le respect presque sacré du savoir, en particulier écrit et théorique qui lui donne un aspect statique. Ces critères attribués traditionnellement au savoir ont également pu influencer certaines réponses. « There is still much respect for learning in oriental culture » écrit I.J. Le savoir a vocation à élever les gens socialement. « There is a long tradition of education out of poverty » explique L.T. L'historien A. Nandy explique qu'au XIX^e siècle, pour une majorité d'Indiens les critères d'achèvement utilisé par la science occidentale et l'éducation scientifique semblaient une imposition arbitraire. Cela était incompatible avec l'idée d'apprentissage dans une société pour laquelle l'éducation était reliée à la réalisation personnelle, l'attribution et la hiérarchie (Nandy 1995). K.M, un physicien d'origine indienne, mais installé en France depuis longtemps, se sent en continuité avec le respect du savoir inculqué traditionnellement et avec la sacralisation en particulier des mathématiques. Ce rapport sacré au savoir le fige dans une certaine intemporalité, représenté par la valeur du savoir écrit. Pour L.T, « Indian are used to work with book traditionally ». L'historien Kapil Raj explique que l'habitude d'apprendre par cœur est très ancrée en Inde. Une immense valeur est attribuée à ce qui est dit et écrit, comme si cela ne pouvait pas être faux, comme si cela ne pouvait pas évoluer. « La vision de la physique conférée aux étudiants est très statique. Le concept védique de "savoir" opère encore dans l'enseignement de la science moderne » (Raj 1988 p317). D'après S. Pollock (1985), en Inde, le savoir est considéré comme préexistant et le progrès peut seulement être atteint par une réappropriation régressive du passé. L'éternité du savoir des Vedas, le *śāstra* par excellence, en est l'illustration. Cette ancienne conception d'un savoir préexistant joue sans doute sur le manque de créativité que nous avons évoqué plus haut. L'historien Kapil Raj constate que les

étudiants indiens se révèlent de très bons élèves lorsqu'ils sont aux États-Unis, et sautant facilement des niveaux, mais moins à l'aise dans les échanges et la créativité. L'un des traits du savoir, c'est donc son aspect statique, l'importance accordée au livre, mais aussi, la valeur du savoir théorique. Pour U.J, physicien interrogé d'origine indienne en poste à Paris, c'est un trait incontestablement brahmanique que de vouloir savoir, comprendre, plutôt que d'appliquer. La physicienne R.W explique ainsi « pure science, pure physics. Fundamental science is a brahmanical feature. » Quand elle est partie pour les USA, elle voulait être théoricienne. Elle a changé d'avis aux USA. Un autre physicien, K.M, estime que la science en Inde est plus théorique qu'ailleurs, plus spéculative. Il cite la théorie des cordes qui est plus étudiée en Inde qu'ailleurs d'après lui. Il fait un lien avec l'importance du savoir théorique chez les brahmanes. « L'Inde a plus contribué à l'élaboration de la théorie des cordes au cours des 20 dernières années que le Japon ou tout autre pays européen ». La physicienne U.T estime que « We lack of experimentators here in India because we don't know how to build those machine ». L.T explique : « Il existe une longue tradition de sortie de la pauvreté par l'éducation. Nous sommes habitués à utiliser des livres. À les retenir. Mais pas à innover ». Pourtant l'historien Kapil Raj a bien montré l'apport de l'Inde dans les innovations technologiques, un apport souvent masqué par la colonisation (Raj 2007). U.J raconte que, quand il a fait son master, « tous les professeurs inspirants étaient théoriciens. Ce n'est pas vrai au Tata où il y a aussi beaucoup de recherche expérimentale. Maintenant il y a plus d'argent pour les choses instrumentales, ça dépend où vous allez. La physique pure a quand même plus de valeur ». Le didacticien U.Sharma a montré que le curriculum actuel de formation des professeurs de sciences est essentiellement tourné vers les aspects théoriques (Sharma 2009). Donc, on ne peut nier cette valorisation de la théorie dans l'apprentissage.

Nous avons montré que nos physiciens sont principalement issus de classes éduquées. Sundar Sarukai écrit qu' « il y a des raisons historiques, qui donnent un avantage structurel au niveau supérieur des *twice-born*, qui est la section de la haute classe de la hiérarchie sociale en Inde, dans le fait de consolider sa position privilégiée à faire de la théorie et parler dans un langage abstrait et universel» (Guru and Sarukkai 2012). L'historien des sciences, Kapil Raj⁶³ raconte qu'en 1828, un laboratoire (balances, acides, tubes, etc.) a été installé à l'*Hindu college*, un établissement pour garçons de haute caste et, une semaine après l'installation du laboratoire, les parents ont retiré leurs enfants du collège ; car ces manipulations leur apparaissent impropres aux hautes castes. Les travaux pratiques ne sont pas assez purs pour les brahmanes. Ils ouvrent

⁶³ Notes prises dans le cadre d'un séminaire dispensé à l'École des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, 2012

donc une deuxième école pour les castes inférieures où sera enseignée la médecine et la chimie. C'est une histoire qui date, et les choses ont bien changé. Il y a de nombreux brahmanes qui ont fait de bons expérimentateurs, et notamment Raman, prix Nobel célèbre pour ses expériences de spectroscopie. Mais les valeurs attribuées au savoir théorique n'en restent pas moins bien marquées parmi les physiciens.

VI.D. CORRÉLATIONS ET MISE EN RELATION DES QUESTIONS ET DES THEMATA : CONSTRUCTION D'UN SYSTÈME

Nous allons aborder maintenant l'aspect « systémique » de notre analyse. C'est-à-dire l'étude des relations entre les questions, entre les tendances qui apparaissent. Nous allons à la recherche de quelque chose qui pourrait se dégager, une question plus fondamentale que les autres, qui sous-tendrait les autres réponses, ou bien un *thema* plus absolu, qui serait la clé des visions du monde des physiciens. Il n'y a peut-être pas de question plus fondamentale que les autres, pas de *thema* plus absolu ? Etudions ce système constitué des différentes adhésions et représentations issues de nos entretiens, pour en comprendre l'organisation.

QUESTION DE TENDANCE

Ceux qui liront cette analyse se poseront sûrement la question de leurs propres *themata*. « Suis-je attiré par le déterminisme, le systémisme, l'objectivité, etc. ? » C'est une prise de conscience qui n'est pas si familière. En effet, notre perception quotidienne comporte peu de conscience des influences socioculturelles qui s'exercent sur notre vision du monde. Pour Besnier (2005), « la science n'est pas l'œuvre d'esprits désincarnés. Ce n'est pas la discréditer que de consentir à ce qu'elle obéisse à des mobiles qui ne sont pas des raisons ». La coexistence des croyances et de la rationalité exige de décrire finement les conditions d'intervention de ces premières. Nous avons, dans cette recherche, dégagé des tendances thématiques liées à la culture. Cela ne veut pas dire que tous les physiciens français ont les mêmes *themata*, ou tous les Indiens ! Nous ne voulons pas dire que cette adhésion plus prononcée pour le réductionnisme, le déterminisme ou le continu, etc. est propre par exemple aux seuls physiciens indiens. Ni d'ailleurs qu'ils sont communs à tous les physiciens indiens. Comme nous l'avons vu dans les discours qu'ils tiennent, il y a nombre d'exceptions. Nous avons voulu plutôt définir un comportement dominant, et qui se différencie d'un autre pays, en l'occurrence la France. Il serait intéressant

de pouvoir comparer avec d'autres pays pour élargir notre analyse. Il ne s'agit pas de rendre compte du phénomène en invoquant un unique déterminant culturel, on ne peut pas faire de généralités, on peut simplement indiquer une tendance. Le style thématique n'est pas une réponse momentanée et individuelle à des circonstances particulières, il constitue un mode de pensée sous-jacent. En d'autres termes, ces phénomènes s'expriment dans un espace causal restreint, enserré de liens causaux, sociaux et naturels, mais ils demeurent le plus souvent imprédictibles rapportés à leur expression individuelle. Nous pouvons faire l'hypothèse que tel individu, ayant telle caractéristique, a des chances d'endosser telle croyance, mais la simple observation nous montre qu'il ne s'agit jamais que d'un pari.

Tels que nous les avons présentés, les *themata* ont une apparence binaire : déterminisme contre indéterminisme, continu contre discontinu. Un individu est-il forcément situé sur un des bords du *thema* en particulier ou bien peut-il se situer entre les deux ? En fait, il est assez rare d'observer des positions très tranchées. Dans l'annexe 1, on peut ainsi constater que peu de physiciens répondent dans le même sens à toutes les questions d'un même *thema*. Certains aussi répondent « les deux » à plusieurs questions : continu et discret, déterministe et aléatoire, etc. Comme dit plus haut, on observe donc plus des tendances que des positions bien tranchées. Comment comprendre la relation entre ces différents positionnements ? Nous allons l'évaluer grâce à l'analyse des corrélations.

CORRÉLATIONS ENTRE *THEMATA*

Comme pour les questions prises individuellement, nous allons nous demander si les *themata* sont corrélés entre eux, dans le but de trouver des éventuelles raisons plus profondes à ces préférences thématiques. Ainsi, est-ce qu'un physicien qui adhère fortement à l'ordre adhère aussi au déterminisme ? Si deux *themata* se révèlent corrélés, étant donné que nous avons fait en sorte de ne pas avoir de questions communes qui les caractérisent, cela peut-être dû au fait qu'un paramètre commun influence les deux. Nous avons calculé les coefficients de corrélation entre *themata* en mesurant la fréquence d'adoption pour chaque physicien et chaque *thema*. Donnons un exemple : ceux qui optent pour la continuité ont-ils aussi tendance à opter pour la subjectivité ? Ce coefficient révèle l'intensité de la liaison qui peut exister entre deux *themata*. Plus le coefficient est proche de 1, plus la corrélation entre les *themata* est forte. Plus le coefficient est proche de 0, plus la corrélation est faible. Les coefficients de corrélation entre couples thématiques apparaissent dans le tableau 22 :

| <i>Themata</i> | coefficient moyen | objectivité/ subjectivité | systemism e/réduction nisme | continuité/ discontinui té | ordre/désor rdre | déterminis me/indéter minisme |
|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| objectivité/ subjectivité | 0,08 | 1,00 | 0,01 | 0,18 | 0,09 | 0,03 |
| systemisme/ réductionni sme | 0,08 | 0,01 | 1,00 | 0,17 | 0,06 | 0,10 |
| continuité/d iscontinuité | 0,13 | 0,18 | 0,17 | 1,00 | 0,07 | 0,09 |
| ordre/désor dre | 0,08 | 0,09 | 0,06 | 0,07 | 1,00 | 0,09 |
| déterminis me/indéter minisme | 0,08 | 0,03 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 1,00 |

Tableau 22 : Corrélations entre *themata*, à partir des *themata* élaborés dans chaque chapitre. Le coefficient moyen de corrélation d'un *thema* avec les autres *themata* figure dans la colonne en gras (la deuxième). Les cases foncées avec nombres soulignés marquent les plus forts coefficients de corrélation .

Dans le tableau 22, nous pouvons voir les coefficients sont très faibles. L'ensemble des coefficients n'est pas très élevé, ce qui s'explique par le fait que plusieurs questions sont mises en jeu dans chaque *thema*, et il y a donc un effet de lissage dû à la diversité des réponses. Pour juger de la valeur de ces coefficients, il ne faut donc pas les prendre dans l'absolu, mais relativement les uns par rapport aux autres. Nous avons aussi regardé pour chaque *thema*, s'il est fréquemment adopté. En effet, plus un *thema* est fréquemment adopté, plus il a de chances d'avoir un fort coefficient de corrélation. Il ressort qu'aucun des *themata* ne recueille d'adhésion massive, ce qui induirait un biais important sur nos corrélations. Les préférences thématiques sont partagées sur l'ensemble des deux groupes de médecins (cf. annexe 1) sans qu'aucun *thema* ne se montre plébiscité par l'ensemble des deux groupes. Cela nous conforte dans la conviction que ces corrélations montrent une réelle tendance. Nous ne pouvons donc tirer de conclusion valable à partir de ces faibles coefficients. Nous ne les prenons que comme supports de réflexion. Ainsi, nous observons que le *thema* qui possède le plus fort coefficient de corrélation moyen est le *thema* continu/discontinu.

Les plus grandes corrélations (case foncée avec coefficient sous-ligné) s'observent entre
 objectivité/subjectivité \Leftrightarrow continuité/discontinuité

continuité/discontinuité \Leftrightarrow systémisme/réductionnisme

Nous allons analyser ces relations afin de comprendre si elles relèvent d'une explication logique.

Subjectivité/objectivité et continuité/discontinuité

A priori, aucun lien logique ne semble lier le couple thématique continuité/discontinuité et le couple subjectivité/objectivité. Il y a cependant au moins un lien. Ce lien a été observé par des anciens philosophes indiens, il fait donc partie du fond culturel de la pensée indienne, même si les physiciens indiens actuels n'en ont pas connaissance (la question leur a été posée). Les débats des écoles savantes indiennes notamment entre les Bouddhistes et les représentants du Nyāya-Vaiśeṣika se préoccupaient de ce lien entre l'objectivité et la continuité. En fait, ces derniers distinguaient un univers objectif considéré comme atomique, discret, et un univers subjectif, celui de l'observateur, non atomique, continu. Dans *The Theory of Matter in Indian Physics*, R.H Narayan écrit : « Indian physics considers both the objective universe, which is taken to be atomic, and the subjective universe of the experimenter or the observer, which is taken to be non-atomic. In other words, it presents a dualistic view where that the observed matter is atomic whereas the observing mind and time and space in which the universe exists is continuous » (Narayan 2007 p5). Même si ce détour par le passé ne semble pas très actuel, il nous propose une relation possible entre ces deux couples thématiques. La matière discrète peut être perçue objectivement, tandis que l'esprit qui perçoit se situe dans le continu. Est-ce cette conception inconsciente qui induit certains physiciens à opter pour la subjectivité et la continuité en même temps (ou à leurs corolaires : objectivité et discontinuité) ? Cela ne peut rester qu'une supposition à ce stade.

Continu/discontinu et systémisme/réductionnisme

Il existe un lien logique entre le réductionnisme (recherche de particules élémentaires) et le caractère discret des particules : une particule élémentaire n'est pas sécable à l'infini, elle est donc discrète. Le physicien U.Y pense cependant : « qu'on peut être réductionniste et avoir un penchant continu, par exemple dans la vision électromagnétisme du XIX^e siècle, on avait une dynamique continue de l'éther, mais à partir d'un élément de base qui était l'électromagnétisme ». C'est aussi le cas aujourd'hui, où certains physiciens estiment que les « briques élémentaires » sont les champs continus, des forces ou des cordes. Leur réductionnisme est basé sur un objet continu. On a vu que beaucoup de physiciens concevaient les « briques » élémentaires de la matière sous forme de champs. Et inversement, on trouve des

physiciens, en particulier plusieurs Indiens pour qui il existe des éléments discrets, mais qui ne constituent pas des briques, leur vision systémique leur impose un principe unificateur, une interconnexion. Malgré ces exceptions, le lien logique qui semble unir le couple systémisme/réductionnisme et continuité/discontinuité est dans l'aspect continu des systèmes, qui s'intéressent aux relations plus qu'aux séparations, et l'aspect discontinu des briques élémentaires sur lesquelles se fonde le réductionnisme. Ainsi, la corrélation entre ces deux couples thématiques semble assez logique.

Nous voyons donc qu'il existe des relations entre les *themata*. Nous allons voir maintenant comment s'organisent ces relations structurellement parlant.

LA STRUCTURE, LE SYSTÈME SOUS LES MOTS

Les *themata* en système

Bien que les coefficients de corrélation observés entre les *themata* soient faibles, certaines corrélations se montrent néanmoins plus élevées et donc intéressantes à analyser. C'est le cas de ces deux relations que nous venons d'observer, entre le couple continuité/discontinuité et les couples systémisme/réductionnisme, objectivité/subjectivité d'autre part. Ces deux relations dessinent une organisation, un *système*.

Voici un schéma très simple (figure 24) représentant les corrélations que nous observons. Nous y voyons apparaître un système de relations entre *themata*. Ainsi, ceux-ci trouvent comment s'imbriquer aux autres. Nous pouvons envisager qu'une posture thématique soutenue par un physicien se voit engendrer d'autres adhésions thématiques, sur certains *themata* reliés. La représentation du réel par les physiciens repose sur un réseau de préférences philosophiques.

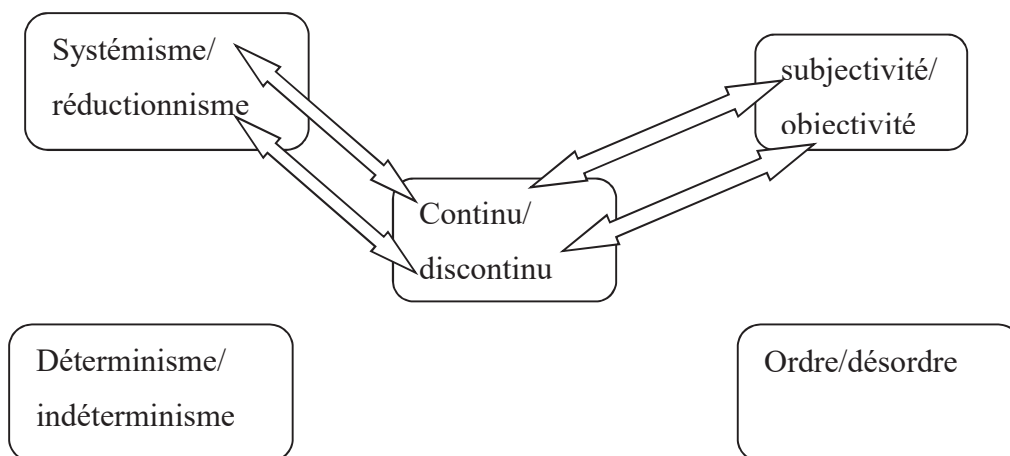


Figure 24: Représentation des relations entre *themata* issue de l'étude des corrélations thématiques les plus significatives.

Nous faisons donc ressortir, plus qu'un *thema* principal, un regroupement de *themata* qui s'articulent les uns les autres, autour de la question du continu/discontinu. Finalement, la dualité onde/corpuscule n'est peut être pas si dépassée que cela ! C'est d'ailleurs ce *thema* qui affiche le plus fort coefficient de corrélation moyen. Serait-ce lui qui guide l'ensemble des représentations que nous avons sur le réel ?

Que peut-on conclure sur ces corrélations entre *themata* et entre questions ? Nous remarquons qu'apparaissent trois pôles relativement indépendants les uns des autres. Un pôle qui regroupe les *themata* continuité/systémisme/objectivité. Deux autres pôles constitués par les *themata* déterminisme/indéterminisme et ordre/désordre, indépendants entre eux. Le bloc constitué par les trois *themata* semble montrer qu'une représentation continue est liée à une représentation systémiste et subjective. Une vision discrète de la matière, à une représentation réductionniste et objective. Un individu (un physicien) qui se représente la matière discrète sera plus enclin à également favoriser le réductionnisme et l'objectivité. Les *themata* ne sont pas des concepts absolus, mais s'insèrent dans un jeu- un système- de représentations qui participent à construire la représentation du réel d'un individu et d'une culture.

Quel système ?

Nous pouvons construire un système qui relie les *themata* entre eux et qui explicite les formes de représentations du réel. Ce ne sera pas l'ensemble des représentations, car nous n'avons pas parcouru toute la gamme des *themata*, mais au moins une certaine partie.

Pourquoi recourir aux systèmes ? Comme l'indique Alain Gauthier dans son ouvrage *Du visible au visuel*, « La notion de système oblige à pister des liaisons parfois lointaines, à donner consistance à des propositions qui autrement resteraient éparses, à fournir une forme globale d'intelligibilité (Gauthier 1998 p22 cité par Lasserre et Guïoux 2002). Nous sommes toujours à la recherche d'intelligibilité pour appréhender les sous-structures mentales des hommes dans leur rapport au réel. Le système de *themata* nous permet de former «un *tableau de pensée* ». Ce tableau reste une transcription incomplète et réductrice d'une complexité qu'est l'individu ou la culture, mais il nous fournit de l'intelligibilité. La notion de système nous permet ici d'envisager la manière dont, au sein des pratiques que nous étudions, les acteurs, par leurs discours et leurs actes, donnent un sens général à l'ensemble du monde qui les entoure.

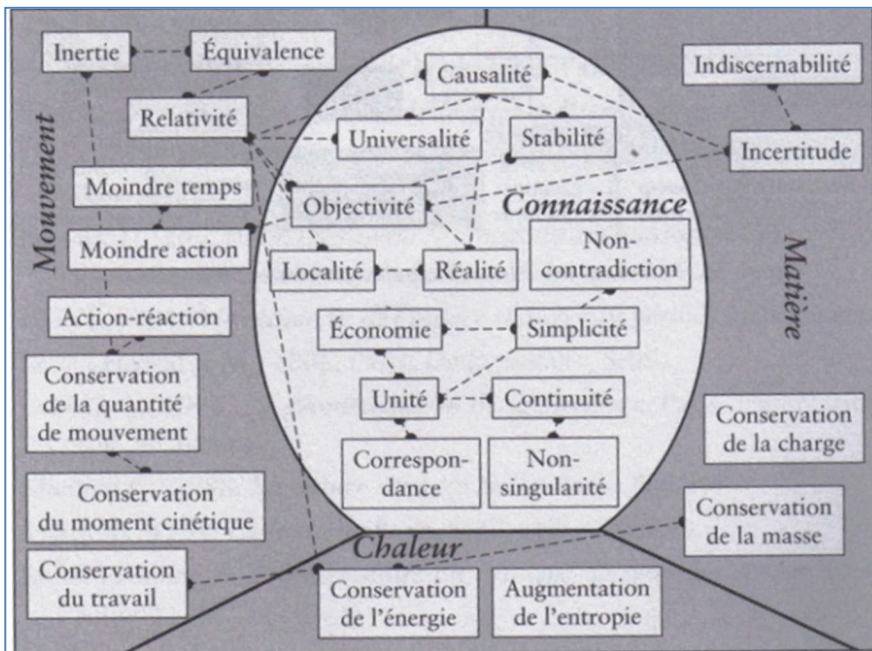


Figure 25 : Système de relations entre connaissance, mouvement, chaleur et matière (Besnier 2006)

Jean-Michel Besnier a aussi élaboré un système basé sur des *themata* (sans les nommer ainsi). Nous voyons dans le centre en forme d'œuf, les pointillés que l'auteur tisse entre les différentes options philosophiques.

Un *système* est donc un modèle interprétatif. Le philosophe J-M. Besnier sur la figure 25 a schématisé un système interprétatif pour décrire les relations entre différents concepts scientifiques et épistémologiques. Ce schéma se rapproche assez de ce que nous construisons, même si l'auteur, quant à lui, ne s'est pas appuyé sur une enquête anthropologique. Il s'est appuyé sur des conceptions philosophiques et a tenté d'en démêler les relations logiques (Besnier 2006) sans passer par les conceptions des physiciens.

CONCLUSION DE CETTE SOUS-PARTIE

Le schéma représentant le système des *themata* (figure 24) permet de visualiser les cinq grands blocs thématiques. Nous observons que le *thema* déterminisme/indéterminisme est indépendant des autres *themata*. De même que ordre/désordre. La vision d'un ordre caché, et celle d'un déterminisme sous-jacent semblent donc indépendantes de la conception sur le rôle de l'observateur (objectivité), sur le réductionnisme ou sur le continu. Par contre, ces trois derniers *themata*, nous l'avons vu, sont reliés entre eux. Ainsi, ce schéma nous donne un moyen de mieux percevoir la manière dont nous nous représentons le réel. Comme dit plus haut, ce schéma a simplement une vocation heuristique, il ne prouve rien étant donné la faiblesse des

coefficients trouvés. Le lien logique qu'ils tissent entre eux est plus parlant que les données chiffrées.

VI.E. CONCLUSION DE CE CHAPITRE

Dans ce chapitre, nous aboutissons à trois constats :

- L'influence de l'origine culturelle des physiciens indiens et français est significative, par comparaison, avec d'autres critères comme l'âge ou la discipline, qui ne montrent pas de différences nettes sur les *themata*.
- Les différences thématiques entre physiciens indiens et français (sur le déterminisme, la subjectivité, l'ordre, le systémisme et la continuité), auxquelles nous aboutissons au chapitre IV, semblent être liées aux spécificités de l'histoire savante (scientifique et philosophique) de chaque pays. Nous avons pu établir des continuités.
- La préférence pour un *thema* semble corrélée à celle d'autres préférences thématiques, dans le cas des dyades objectivité/subjectivité, réductionnisme/système et continu/discontinu. On peut donc parler d'un système thématique.

Nous allons à présent discuter les résultats des chapitres IV, V et VI et proposer une critique de nos outils.

CHAPITRE VII. QUESTIONNEMENTS ET CRITIQUES METHODOLOGIQUES : DE LA PENSÉE INDIVIDUELLE À LA PENSÉE SCIENTIFIQUE

Avant de tirer des conclusions, dans le chapitre VIII, nous allons discuter plusieurs points qui soulèvent des questionnements au sujet de notre analyse. Nous commençons par interroger la portée de nos outils : marge d'erreur, biais dans les discours. Nous analysons ensuite les biais liés à notre propre posture d'observateur dans cette recherche. Nous discutons ensuite la question des ressemblances entre physiciens indiens et français : le cœur de notre thèse est basé sur des différences, mais trouve-t-on des ressemblances ? Un autre point de discussion concerne l'universalité des valeurs épistémologiques associées à la science (déterminisme, objectivité, etc.), et leur déclinaison dans des pays dont les traditions savantes ont pu être basées sur d'autres valeurs. Nous nous interrogeons sur la rencontre entre ces valeurs. Les physiciens doivent-ils adopter ces valeurs au détriment de celles qu'ils se sont forgées par leur parcours personnel et collectif ? Comment vivre avec ces options parfois contraires ?

VII.A. CRITIQUE DES NOS OUTILS

Concernant l'usage des statistiques, nous pouvons apporter des éléments de discussion. « La démarche de contrôle statistique doit comprendre d'une part une critique de la qualité des indicateurs (du point de vue de leur construction et de leur fiabilité) et d'autre part une critique de l'usage des indicateurs » écrit Pierre Ardilly (1994 p235). Nous avons analysé plus haut la qualité de nos indicateurs culturels, en évaluant l'impact d'autres indicateurs tels que l'âge ou les disciplines de recherche. Au regard des impacts faibles constatés pour ces autres paramètres,

nous pouvons considérer que les différences culturelles ont un impact plus important. Concernant l'usage que nous faisons de ces éléments statistiques, nous tenons à préciser qu'ils ne constituent pas une preuve en soi, ils complètent au niveau des tendances, l'analyse qualitative des discours.

Lorsque nous faisons usage des pourcentages sur les réponses aux questions ou sur les *themata*, il est difficile d'estimer notre marge d'erreur, car nous n'avons pas de réponses quantitatives. En prenant la racine de n (nombre d'interviewés=35 pour chaque groupe) on obtient 5,91, ce qui nous donne simplement une idée de l'erreur sur les réponses. Mais que représente cette marge d'erreur ? *A priori*, il ne s'agit pas d'une erreur dans les réponses, car nous avons analysé chaque réponse, au cas par cas, il peut en effet y avoir des erreurs d'interprétation de notre part, ou des erreurs dans le discours des médecins, qui n'est pas représentatif de leur pensée. Mais est-il possible d'estimer ces erreurs-ci ? Ou bien s'agit-il d'une marge d'erreur dans la représentativité de l'échantillon par rapport à l'ensemble des médecins indiens et français ? Nous reconnaissons que la marge d'erreur de nos résultats est difficile à estimer, mais notre approche demeure plus qualitative que quantitative, et les statistiques ne sont là que pour dessiner des tendances.

Pour continuer sur la discussion autour de nos outils, venons-en à nos *themata* qui méritent quelques explications au sujet de leur construction. Nous nous sommes basés sur 2 à 3 questions par *themata*. On pourrait considérer que c'est peu. Nous pensons au contraire qu'une question pourrait suffire à identifier un *thema*, si tant est que les termes de la question soient bien compris et que les interviewés répondent de manière honnête. La question à se poser à propos de la fiabilité de nos outils concerne donc plutôt la fiabilité du discours et la relation entre le discours et les adhésions –souvent inconscientes- aux représentations du réel.

CE QUE DISENT LES MÉDECINS INTERROGÉS EST-IL VRAIMENT FIABLE ? REGARD SUR L'ÉCHANGE ENTRE L'INTERVIEWER ET L'INTERVIEWÉ

Il ne faut pas écarter la possibilité qu'une partie des médecins indiens adaptent leur discours pour des raisons diverses : en voulant afficher des postures qu'ils jugent préférables vis-à-vis de l'enquêteur ou bien pour d'autres raisons, inconscientes ou pas. Il ne s'agit pas de dire qu'ils ne disent pas ce qu'ils pensent : nous avons justement voulu montrer que les *themata* sont des adhésions profondes, qu'on peut déceler à travers le discours. Mais nous avons conscience que les discours peuvent s'adapter au contexte, varier en fonction des interlocuteurs. Laurent Thévenot (2006) parle ainsi d'« une personnalité à tiroir ». Différents tiroirs peuvent

correspondre à différents interlocuteurs, mais la variabilité touchera assez peu les expressions thématiques, plus les formes du discours. En tant qu'enquêteur, il me faut demander quelle influence j'ai pu produire sur les discours des interviewés. Française et physicienne de formation, j'adhère à certaines catégories des enquêtés. Pendant les entretiens, je me suis mise dans une posture d'écoute et de relance en essayant de ne pas interférer sur la pensée, les représentations et donc les discours des physiciens, même si j'accordais une attention à la compréhension commune des termes et concepts employés. Mais on ne peut pas nier une forme d'implication dans l'échange. La difficulté tient au fait que rien n'est donné, mais que tout se construit dans l'interaction.

Comme le suggère Devereux, «au lieu d'apaiser notre conscience scientifique par la fiction de la neutralité de l'observateur-participant, nous devrions plutôt analyser la situation effective dans laquelle nous nous laissons manoeuvrer par nos sujets, de manière à atteindre la véritable objectivité que seul rend possible l'examen du rôle qui nous est assigné » (Devereux 1980 p341).

Comme Française, j'induisais probablement une forme d'attente sur les réponses conformes à mes attentes. Les physiciens cherchaient inconsciemment peut-être à rentrer dans les cases présumées ? Ou bien, au contraire ? Comment le savoir si ce n'est en faisant faire les mêmes entretiens par quelqu'un d'autre ? Mais ce serait une autre thèse qu'il faudrait faire !

En tant que femme, que française, je renvoie forcément quelque chose qui modifie l'attitude des interviewés, variable en fonction de leur parcours personnel et de leur culture. C'est un paramètre difficile à évaluer, car la modification peut-être inconsciente. Le fait d'être face à une étrangère a pu modifier le discours des Indiens. Un regard étranger a cependant l'avantage de la fraîcheur. Quant à mon attitude vis-à-vis des Français, elle est biaisée par l'absence justement de regard extérieur, comme on dit au Sénégal, « on ne peut pas être à la fenêtre et se voir passer dans la rue ». Il y a aussi le fait que les interviews se soient déroulées en majorité sur les lieux de travail, qui a sûrement contribué à les faire rester sous leur casquette de physicien (laquelle les contraint dans un cadre professionnel et non personnel, où par exemple l'évocation de leurs convictions philosophiques ou religieuses est proscrite). Mais là aussi, pour en étudier la portée, il faudrait pouvoir les suivre dans d'autres contextes, chez eux, ou dans d'autres situations non professionnelles. Et ce serait un autre projet. Nous pouvons donc seulement prendre acte de ces éventuelles influences.

Dans le cas de recherches internationales, construire une recherche comparée nécessite une vigilance particulière pour réduire le risque d'ethnocentrisme et éviter l'introduction de biais culturels. « La première forme d'ethnocentrisme réside dans une formulation de la problématique trop ancrée dans une culture particulière » (Ardilly p220). Il y a donc lieu de nous demander si notre problématique de recherche n'est pas ethnocentrée ? N'est-elle pas typiquement française ou même occidentale – avec les précautions afférentes à ce terme ? « Lorsque la comparaison interculturelle consiste à étudier dans d'autres cultures une question qui s'est posée dans le cadre d'une culture particulière, il est rare qu'elle s'avère vraiment interculturelle » [cité par Dogan et Pélassy 1982 p32]. Il est délicat de savoir si cette question de recherche est réellement ethnocentrée. Est-ce que les *themata* sont des concepts occidentaux qui n'ont pas de pertinence dans un contexte indien par exemple ? Nous avons vu que la pensée indienne construit la représentation de l'homme et de l'univers sur des principes qui ne s'inscrivent pas dans les axiomes d'identité, de non-contradiction et de tiers exclus de la tradition rationaliste occidentale. De ce fait, il n'y aurait pas de pertinence à opposer les *themata* de manière duelle. Edgar Morin a expliqué qu'il « faut articuler les principes d'ordre et de désordre, de séparation et de jonction, d'autonomie et de dépendance, qui sont en dialogique (complémentaires, concurrents et antagonistes) au sein de l'univers. »³² Inspirés par cette pensée complexe, nous pourrions nous intéresser à mettre en dialogue les postures opposées au sein des *themata*, et voir comment les individus arrivent à la faire dialoguer. Gonthier introduit l'idée de complémentarité qui prend l'aspect d'une expérience métaphysique dans laquelle, par un changement de perspective, une opposition polaire s'est transformée en opposition complémentaire. « Il n'y a plus, écrit-il, de raison théorique de penser que deux notions quelconques opposées par polarité ne puissent pas apparaître un jour comme deux aspects complémentaires d'une même "réalité", d'un autre horizon » (Gonthier 1948 p420). Ce pourrait être une perspective d'étudier la manière dont les oppositions dialoguent au sein d'un même individu. Nous avons cherché à dépasser cette dualité dans l'étude des corrélations (ci-dessous p224).

De même, le sentiment religieux omniprésent en Inde « contribue à asseoir le souci de faire lien, de mise en relation totale entre monde, sujet, corps et altérité » (Guioux et Lasserre n.d.). Ainsi, il n'y aurait pas de pertinence à séparer les *themata* d'un univers religieux, chemin sur lequel nous nous sommes très peu engagés.

Par ailleurs, est-ce que les questions posées dans les entretiens et les concepts mis en jeu, tels que le déterminisme, la continuité, etc. ont bien un tel sens dans la pensée indienne ? Ne les ai-

je pas teintées de la pensée franco-occidentale ? N'ai-je pas interprété les discours dans les termes de mon propre discours, selon mes propres modes conceptuels ? Tout cela est possible, bien que j'aie tout fait pour expliciter les concepts dans un langage commun. L'appel à la vigilance auquel M. Weber exhortait le chercheur dans « l'objectivité de la connaissance » (un de ses *Essais sur la théorie de la science*) m'incite à m'interroger sur mon « rapport aux valeurs », perceptible dans le choix du sujet et la manière de l'appréhender, lié notamment à mon origine et à mon époque. Mon parcours est à la jonction entre pensée scientifique et pensée traditionnelle, intéressée et formée à la fois par la physique moderne et à la fois formée et intéressée aux traditions philosophiques et mystiques indiennes. Ce questionnement est sans doute lié à mon origine (famille catholique en perte de croyance, et éducation scientifique) et à mon époque (perte de sens, questionnement sur la vérité scientifique). Cette réflexivité requise signifie simplement une prise de conscience de ses propres valeurs pour maîtriser dans la mesure du possible l'impact qu'elles peuvent avoir sur l'orientation du regard dans la recherche. Ce constat m'incite à expliquer pourquoi j'ai choisi la comparaison Français/Indiens. En introduction, j'ai explicité les raisons factuelles. Il y a aussi des raisons personnelles que je n'évoque que maintenant, car je ne les présente que pour contribuer à mesurer le biais personnel du chercheur - ses attentes, ses présuppositions - sur sa recherche. Si j'ai choisi la France, c'est simplement parce qu'il s'agit de mon pays. C'est aussi parce que je pensais qu'il était intéressant de comparer un pays fondateur des sciences modernes (européen) et un pays non européen. Pour ce qui concerne l'Inde, mon choix s'est porté dessus parce que j'en apprécie la philosophie élaborée et originale, et qu'il m'est apparu que les Indiens ont conservé des traits propres de connaissance, de « science », non moderne et non européenne. L'écart me semblait suffisamment grand pour être révélateur. De quelle manière mes attentes ont-elles influencé mon questionnement ? Il me semble que, même si je n'en étais pas totalement consciente, je cherchais à montrer que la pensée traditionnelle pouvait enrichir la pensée moderne, au lieu d'être marginalisée, vu que, dans mon cas, elle avait enrichi ma pensée. Il me semble aussi que je souhaitais trouver les valeurs épistémologiques implicites qui soutenaient la pensée scientifique moderne, et montrer que ces valeurs impactaient notre rapport au monde et aux autres peuples, en marginalisant leurs propres valeurs. L'une de mes préoccupations était aussi de faire dialoguer différents modes de connaissance. J'ai réduit mes ambitions, et essayé de me départir de mes attentes. J'ai été surprise de mes résultats, m'attendant par exemple à trouver les Indiens moins déterministes, plus interdisciplinaires. Ces résultats m'ont rassuré quant à l'influence de mes attentes sur ma recherche. Il semble donc que j'ai pu limiter mon ethnocentrisme et l'influence de mes attentes sur ma recherche, même si je ne me leurre pas sur

leur persistance. Je pense que j'ai fini par ne plus avoir d'attentes. Et cela a été le plus grand apport personnel de cette thèse, et de mon apprentissage du métier de chercheur.

VII.B. TROUVE-T-ON DES RESSEMBLANCES ENTRE PHYSICIENS INDIENS ET FRANÇAIS ?

Le fil conducteur de notre thèse est la recherche de structures sous-jacentes à la pensée scientifique, qui se déclinent différemment selon les pays d'origine des physiciens. Nous n'avons pas *d'a priori* sur les résultats de cette recherche, l'existence de différences nous paraissant tout aussi plausibles que celles de ressemblances. Dans le chapitre IV, nous mettons en perspective essentiellement des différences. Est-ce à dire qu'il n'y a pas de ressemblances dans ces structures sous-jacentes que sont les *themata*, au niveau des physiciens indiens et français ? Nous n'avons pas étudié suffisamment de *themata* pour élargir notre propos. Il se peut qu'existent des *themata* sur lesquelles il n'y aurait aucune différence. Nous avons d'ailleurs remarqué que certains de nos *themata* montrent un peu moins de différences entre Indiens et Français. C'est le cas du couple objectivité/subjectivité. Les ressemblances nous parlent de l'universalité de la pensée scientifique, au-delà des disparités culturelles. « Qu'y a-t-il d'invariant dans la théorie et la pratique scientifique en perpétuelle mouvance - en quoi s'agit-il d'une seule et même entreprise, en dépit des transformations, apparemment fondamentales, quant à ses éléments et centres d'intérêt ? » (Holton 1981 p26). La mise en relief des différences vient sans doute du choix des *themata* étudiés, les différences auraient sans doute été plus sensibles avec d'autres *themata*.

Nous avons d'ailleurs des questions spécifiques (isolées des *themata*) qui ont recueilli des réponses très similaires entre physiciens indiens et français. C'est le cas de la question appelée « dualité ».

Ressemblance sur la difficulté de définir un fait

Cette question était formulée ainsi :

« Un fait peut-il être vrai et faux simultanément ? »

Nous ne l'avons pas utilisée dans nos *themata*, nous l'avons utilisée dans l'idée qu'elle pourrait contribuer à comprendre les représentations des physiciens sur la superposition des états en mécanique quantique, et également pour évaluer la persistance de la pensée non duelle parmi les physiciens indiens. Les ressemblances des réponses sont étonnantes parce qu'elles sont très

divisées, à la fois pour les physiciens indiens et les physiciens français. Les physiciens indiens et français répondent de manière exactement similaire : 58% sont en faveur de la dualité (un fait peut être vrai et faux simultanément) et 42% ne sont pas de cet avis. En fait, la question a été assez mal formulée, car souvent sujette à confusion au sujet du mot fait. Les discours des physiciens se sont appesantis sur le sens de « fait », qui du coup, a provoqué des réponses sans rapport avec l'objectif initial de s'intéresser à la logique duelle. Donc, il nous semble que ces réponses ne sont pas significatives, et que la similarité entre les deux groupes dénote surtout une ambiguïté, qui a pu diviser les réponses, et que leur exacte similarité est le fruit du hasard.

Ressemblance sur la perception d'une réalité mathématique

Une autre question a recueilli des réponses similaires entre Indiens et Français. Elle concerne la réalité des mathématiques, est bien moins ambiguë et reflète une ressemblance intéressante et à notre avis, significative. Il s'agit de la question :

« *Les mathématiques sont-elles un outil inventé par les humains ou bien une réalité transcendante ?* »

Nous cherchions à travers cette question à mieux saisir la relation de nos physiciens avec la réalité mathématique, comment ils la perçoivent, dans son lien notamment avec l'esprit et le réel matériel. Nous pensions l'utiliser pour un *thema* sur l'idéalisme qui finalement était trop délicat à cerner.

| Mathématiques | Physiciens français | Physiciens indiens |
|----------------------|---------------------|--------------------|
| Réalité indépendante | 38% | 40% |
| Outil | 53% | 57% |
| Les deux | 9% | 3% |

Tableau 23 : Répartition des réponses des deux groupes de physiciens indiens et français, à la question : les mathématiques sont-elles un outil créé par les humains ou bien, une réalité indépendante ?

Au vu de la répartition des réponses (tableau 22), nous pouvons observer une grande similarité entre physiciens indiens et français. Nous avons analysé les réponses (voir annexe 13), mais nous n'avons rien à en retenir sinon une diversité des rapports à la réalité mathématique, une diversité qu'on trouve aussi bien chez les physiciens indiens que français. On ne peut donc pas en déduire de convergence sur un critère d'universalité en science, on peut seulement constater que la perception de la transcendance des idées mathématiques (platonisme) existe tout comme sa conception inverse parmi les physiciens.

Ressemblance sur la valeur de l'expérimentation pour discriminer les théories

Une question cependant rassemble une convergence de points de vue, et serait un révélateur d'universalité. Il s'agit de la question « théorie », que nous avons déjà croisée :

« quels sont les critères d'une bonne théorie ? »

| Critères d'une bonne théorie | Physiciens français | Physiciens indiens |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|
| Compatible avec les expériences | 40% | 47% |
| Beauté | 16% | 8% |
| Simplicité | 21% | 10% |
| Symétrie | 14% | 29% |
| Unité | 10% | 6% |

Tableau 24: Répartition des réponses à la question concernant les critères d'une bonne théorie.

La compatibilité avec les expériences arrive en tête (tableau 23) et nous pouvons donc y voir là une marque universelle de la science. Cette répartition est d'autant plus significative quand on la compare à la question sur les critères de scientificité (p149). Pour cette question, les avis sont partagés, la cohérence logique étant le principal critère pour les physiciens indiens et la prédictibilité pour les Français. On voit donc que la prédictibilité est un principe fédérateur pour l'ensemble des physiciens.

Ressemblance sur l'attrait pour le savoir théorique

Nous avons trouvé des ressemblances qui ne sont pas de l'ordre des *themata*, entre physiciens indiens et français, qui sont relatives aux formes du savoir, et qui ne sont pas non plus universelles, qui semblent plutôt liées à des cultures communes. U.J dit « La physique pure a quand même plus de valeur en Inde. Je l'ai constaté aussi pour les Français, mais pas aux USA et en Angleterre par exemple ». En effet, l'importance du savoir théorique semble assez forte en France comme en Inde. Cet attachement au savoir théorique, intemporel et écrit est aussi noté par l'historien D.Pestre dans son analyse sur les physiciens français d'avant-guerre. « L'abstraction au-dessus du réel, les mots au-dessus des choses, la rhétorique à la science » (p292). La dévotion va à la science pure, à la science élément de Culture. La science trop spécialisée et trop appliquée est placée en dessous. Pestre note « un certain nombre de traits propres aux physiciens français : la confiance dans la science pure et ses vertus morales » (p285). « On ne demande pas aux étudiants d'être originaux. » « Partout c'est le livre qui commande » (Pestre 1984 p294) comme en Inde. « La quasi-absence de séminaire, le privilège accordé au professeur présentant la science du haut de sa chaire » (p294).

Ressemblance sur l'attrait pour les mathématiques

Nous avons aussi remarqué l'importance accordée aux mathématiques dans les deux pays. Il existe un certain nombre de mathématiciens célèbres en Inde, comme Ramanujan. De plus l'Inde est une terre très féconde dans l'histoire des mathématiques, comme nous l'avons vu plus haut, avec l'invention du zéro, des chiffres « arabes », etc. D'après le physicien K.M, il y a cinquante ans, à l'époque de son père et de son grand-père, les mathématiques étaient enseignées avec le sanskrit. Il s'agissait d'une même filière pour l'équivalent de leur bac. Les mathématiques étaient considérées comme une discipline littéraire. Pour lui, s'il y a beaucoup de mathématiciens en Inde, c'est à cause de la tradition sanskrite, jointe à la tradition de logique, plus la sacralisation des mathématiques. Le physicien L.X développe : « les chiffres ont quand même un statut particulier en Inde, c'est quelque chose de culturel, on a une grande image des mathématiciens anciens, on apprend à l'école Aryabatha, Bramaghupta, etc. Et puis il y a aussi un usage développé de la numérologie. Et on a inventé les chiffres, le zéro. Il y a aussi une école médiévale de mathématiques au Kerala, qui a utilisé les équations différentielles, bien avant Leibniz, etc. ». L.T estime qu'il existe une longue tradition de mathématiciens et qu'ils représentent un modèle à suivre. On n'observe pas, à notre connaissance, dans les autres pays en développement, une telle importance accordée aux mathématiques. Pour la physicienne R.W, les mathématiques sont comme le Sanskrit qui est, trouve-t-elle, une langue très mathématique. Parmi ses trois sœurs, deux ont fait des études de mathématiques. Et sa mère enseignait le sanskrit.

Et en France ? Dans l'enseignement, il existe une forte priorité donnée aux mathématiques. Ce n'est pas autant le cas en Allemagne ou au Royaume-Uni raconte un physicien français interrogé (J.X). « En France, dit un autre physicien (PX), j'ai l'impression que les gens sont bloqués par les maths, beaucoup les craignent, sont rebutés par la science à cause des maths. Il y a une trop forte focalisation sur les maths. Même au niveau médiatique, les maths sont diabolisées, quand elles ne sont pas sacrées. » Est-ce que finalement, le lien de ces deux pays, l'Inde et la France, avec les mathématiques n'est pas similaire et assez spécifique, comparé aux autres pays ? Aurions-nous eu les mêmes réponses avec des physiciens anglais ou américains ? Le physicien J.X estime que les mathématiques « sont très théoriques en France. En Inde, c'est pareil, j'ai l'impression ». Il pourrait donc y avoir, une spécificité probable et partagée de l'Inde et de la France dans leur rapport et leur utilisation des mathématiques, par rapport à d'autres pays. Dans l'importance qu'ils accordent aux mathématiques, ces deux cultures se ressembleraient, de même que sur l'importance du savoir théorique. L'origine de ces traits spécifiques reste à étudier.

En conclusion de cette partie consacrée aux ressemblances, nous soulignons la nécessité d'élargir l'étude à d'autres *themata* pour en trouver d'éventuelles ressemblances. En termes de ressemblances, nous avons essentiellement remarqué des traits communs entre Indiens et français sur l'importance des mathématiques et du savoir abstrait et théorique. Ces traits ne semblent pas constituer un caractère partagé par la communauté des physiciens dans le monde, mais semblent plus spécifiques à l'histoire scientifique et philosophique de ces deux pays.

VII.D. QUÊTES IDENTITAIRES, PAYS EN DÉVELOPPEMENT, SCIENCE ET TRADITION

Cette étude s'insère dans un débat plus vaste sur le lien entre tradition et science. Nous avons en effet observé que des aspects culturels et traditionnels persistent dans les représentations scientifiques du réel, grâce à cette étude sur les *themata* des physiciens indiens et français. Mais comment est vécue cette rencontre entre *themata* culturels (locaux ou traditionnels), et les valeurs scientifiques (mondiales et non traditionnels) ? Ces deux représentations ne s'opposent-elles pas ? Nous avons vu au chapitre II.D, que la science moderne véhiculait des valeurs – que nous pouvons considérer comme des *themata* – telles que le déterminisme, l'objectivité, etc., qui sont issues des racines épistémologiques de la culture européenne. Est-ce que cela signifie que les scientifiques, qu'ils soient indiens ou français, en adhérant à la pensée scientifique, sont supposés adhérer aussi aux *themata* qui lui sont associés et qui sont ceux d'une pensée européenne ? Nous avons vu cependant que les physiciens indiens ont des tendances thématiques différentes des physiciens français. Il est donc possible d'adopter un mode de pensée scientifique, mais des *themata* différents de ceux sur lesquels s'est construit ce mode de pensée scientifique.

Cette question est d'autant plus vive dans les pays anciennement colonisés pour qui la science a pu être un outil de domination. L'histoire des sciences coloniales a été étudiée (Vessuri 1994), mais l'influence actuelle sur les scientifiques contemporains de cette histoire est peu traitée. Les blocages culturels sont souvent évoqués pour expliquer la stagnation de certains pays en développement qui sont encore sous l'emprise d'une pensée magique, irrationnelle ou issue de la tradition. Ils n'auraient pas la rationalité nécessaire au développement dans leur culture (Alvares, 1991). À moins qu'ils n'aient pas les mêmes valeurs de ce qu'est ou ce que devrait être la science. La science moderne s'est construite implicitement sur la valeur de maîtrise de

la nature. L'historien Amos Funkenstein, a détaillé la relation forte entre l'émergence de la science et le christianisme (Funkenstein 1995). En ce sens, elle porte certaines de ses valeurs, notamment la domination de la nature, les textes bibliques y font nettement référence⁶⁴. Pour l'historien Alexandre Koyré, la pensée scientifique engendre le rejet « la dévalorisation complète de l'Être » (Koyré 1973 p11). Pour la philosophe anglo-saxonne Carolyn Merchant, les Lumières sont la période où la science commence à objectiver et quantifier la nature : « Pour les Européens du XVIIe siècle, la racine reliant ensemble le soi, la société et le cosmos était celle d'un organisme, soulignant ainsi l'interdépendance des parties du corps humain, la subordination de l'individu à la communauté. La vie organique imprégnait le cosmos jusqu'à la moindre pierre » (Merchant 1990). L'insertion de la science dans la société industrielle et capitaliste a été étudiée entre autres par Max Weber, Jürgen Habermas, ou Jacques Ellul. Ces auteurs relient la science aux valeurs de progrès, de maîtrise de la nature et de rationalité quantifiante. Cette relation se renforce depuis quelques années par une déclinaison de la science occidentale qui s'est imposée au monde par la *technoscience* soumise aux « contraintes de productivité et de rentabilité à court terme » (Lévy-Leblond 2004 p111). La sacralisation du progrès n'est pas partagée par toutes les cultures. La culture « moderne » privilégie l'axe du développement scientifique. La tradition indienne privilégiait, on l'a vu, un autre axe de progrès : la transformation individuelle, la connaissance du soi. Encore aujourd'hui en Inde, nous avons vu qu'il existe de nombreux mouvements d'alternatives à la science moderne, certains d'entre eux questionnant l'épistémologie de la science moderne qui, selon eux, n'est pas forcément meilleure pour traiter les problèmes actuels (cf. chapitre II). Il n'y a pas de parallèle aujourd'hui en Occident à des systèmes indigènes de connaissances, profondément enracinés par l'histoire dans les pratiques culturelles et quotidiennes (V.V Krishna 1996 p297). La revendication d'un pluralisme des savoirs revêt alors un autre sens.

Il est intéressant d'étudier sous un aspect sociologique et culturel les scientifiques des pays en développement et anciennement colonisés, car ils incarnent bien les tensions relatives aux choix de modernité. Phelan écrivait en 1991 que « Les physiciens sont, peut-être encore davantage que leurs compatriotes- impliqués dans des mondes aux valeurs différentes. Les individus passent sans arrêt d'un contexte social à un autre : famille, groupes de pairs, milieu professionnel, les gens négocient sans arrêt les structures de leur réalité » (Phelan, Davidson, and Thanh 1991). Les physiciens indiens sont impliqués dans des mondes aux valeurs différentes. Nous avons décrit au chapitre II l'évolution de la place de la science dans l'Inde du

⁶⁴ Par exemple Genèse I 28: « Remplissez la terre et soumettez la »

XX^e siècle, et notamment les différentes formes d'alternatives à la science occidentale. La science a été en Inde, un enjeu fort de la rencontre entre tradition et modernité. D'après V.V. Krishna, les personnes impliquées dans les mouvements de revitalisation des sciences indiennes, ou d'alternatives à la science occidentale, qu'elles soient politiques ou non, sont principalement des personnes diplômées. « Plus de 70 % des militants de ces mouvements (et la plupart des permanents) possèdent un diplôme en sciences ou en sciences sociales. » (Krishna 1996, p295). On peut en déduire, comme Krishna que la science porte en elle ses propres contradictions, « qu'elle secrète au sein de ses propres élites et de ses institutions les bases mêmes d'une contre-hégémonie » (p295). Il y a encore en Inde, un conflit sociétal au sujet de la science moderne, qui ne concerne bien sûr pas tous les scientifiques, mais qui représente un enjeu de société. Beaucoup d'intellectuels remettent en cause certaines des valeurs portées par la science moderne. Ce qui mérite donc attention dans le cas de l'Inde, c'est la conjonction de l'émergence d'une nouvelle puissance scientifique avec la persistance de valeurs traditionnelles encore bien présentes. Le dilemme principal pour ceux qui n'appartiennent pas par la naissance, la socialisation ou la formation intellectuelle à la culture hégémonique du monde moderne, est, selon les mots de Dunn, « la distinction entre les aspects de la culture étrangère qui permettent réellement de mieux connaître le monde et les aspects qui font croire en cette capacité, mais ne sont que tromperie » (Dunn 1985 p154). Car c'est la capacité de faire cette distinction, explique Dunn, qui seule permet de discriminer une extension de la capacité cognitive, d'une érosion cognitive par la pénétration étrangère.

Il y a lieu de s'interroger sur la transformation de la vision du monde opérée par la science moderne. Est-elle en train de transformer, ou faire disparaître, les formes de représentations traditionnelles du monde ? Est-elle compatible avec celle-ci ? Feyerabend estime que la science moderne est intolérante aux autres modes de connaissance et qu'elle développe une forme de répression à leur encontre (Feyerabend 1979). *En mettant sur le même plan toutes les cultures, tous les modes de pensée humains, on risque de nier la différence entre les sociétés qui ont produit la « science moderne » des autres. Même la dénonciation de l'arrogance occidentale qui s'est crue intrinsèquement différente des autres cultures n'annule pas la différence, explique Isabelle Stengers (1993).*

La pensée traditionnelle s'enracine d'après Sudhir Kakar, « dans une expérience de l'être où la nature analogique des symboles reste opératoire, où le regard subit l'envoutement des archétypes culturels, où l'âme baigne dans l'empathie des relations sociales. Toutes choses qui puisent dans des modes d'être où l'individu, c'est-à-dire le moi, s'efface au profit d'un soi

collectif, où les qualités des lieux et des temps demeurent extrêmement mobiles, où les modes d'existence s'unissent en communion dans une sorte de coprésence. Tout ceci se reflète tant au niveau des croyances que des coutumes. Au niveau des croyances, il constitue une sorte de métaréalité distincte à la fois du réel et de l'irréel, une métaréalité acceptée comme étant inconsciemment l'identité de la communauté » (Kakar 1985 p90). D'après lui, cette métaréalité se laisse intégrer dès le début de la vie comme une sorte de rêve, car elle s'appuie sur l'expérience vécue, sur le pouvoir de la vision, sur l'intuition plutôt que sur l'analyse et la connaissance scientifique (p84).

Daryus Shayegan écrit, au sujet de la modernité et de la tradition : « Les civilisations extra-occidentales vivent à l'heure de deux paradigmes : le leur et celui issu des grandes révolutions scientifiques (l'*épistème* selon Foucault) [...] la collision des deux paradigmes sous-tend aussi les conflits qui opposent la modernité et la tradition tout autant que les décalages ontologiques, psychologiques et esthétiques » (Shayegan 2003 p72). « Il s'est donc bien passé quelque chose : un déplacement du regard. [...] Ce retournement est sans doute l'un des piliers fondamentaux de la modernité. [...] C'est le désenchantement de ce regard quasi magique qui rendit possible la découverte d'une extension quantitative qui allait bien plus tard réduire le monde à l'étendue géométrique » (p53). « Dans l'ancien paradigme, écrit encore Shayegan, les mondes correspondent les uns avec les autres en vertu des analogies occultes diront les défenseurs de cet ancien paradigme. Au contraire, rétorquent les nouveaux : ils s'opposent comme deux mondes hétérogènes, étendue et pensée sont liées disjointement. »

Notre analyse ne couvre pas tout le champ de la rencontre entre pensée traditionnelle et pensée moderne, qui va bien au-delà des représentations scientifiques du réel. Mais elle s'insère sur un pan de cette rencontre. À l'issue de cette recherche, il semble que l'on ne puisse pas vraiment dire que la science défait les anciennes formes de représentation du réel, en tous cas en ce qui concerne les *themata* que nous avons étudiés : déterminisme, subjectivité, systémisme, continuité et ordre. Nous avons montré que ces *themata* gardaient une différenciation culturelle même au sein des représentations scientifiques du réel. Si nous prenons par exemple la question de l'ordre dans la nature, nous nous apercevons que les physiciens indiens perçoivent l'existence d'un ordre ou plutôt d'un équilibre dans le cosmos, alors que les physiciens français l'évoquent beaucoup moins. Cette idée d'ordre cosmique correspond bien à une vision « traditionnelle », telle que peut la décrire D. Shayegan. Il s'agit de la conscience d'une articulation entre les lois personnelles, morales et l'ordre de la nature, qui implique un équilibre. Donc, même si l'emprise du nouveau paradigme se fait sentir dans les sciences, comme le remarque Sahyegan, l'ancien n'en reste pas moins opérationnel et n'a pas abdiqué pour autant.

Différencier la pensée traditionnelle et la pensée scientifique moderne est une vaste entreprise qui a déjà été menée par différents auteurs. Alain Touraine évoque la pluralité des voies de modernisation en termes notamment d'adhésion à la pensée rationnelle (Touraine 2007). Philippe Descola (2005), distingue non pas deux types de pensées, une traditionnelle et une moderne, mais quatre, qu'il nomme « ontologies ». Les ontologies de Descola sont des schèmes intégrateurs des pratiques humaines de structuration de l'expérience individuelle et collective. Chacune de ces ontologies est définie par ses caractéristiques de structuration de l'expérience individuelle et collective. Descola souligne bien que ces schèmes ne sont pas spécifiques de certaines aires géographiques ou culturelles : « les schèmes ontologiques se répartissent sur toute la surface de la Terre au gré de l'inclination des peuples pour telle ou telle façon d'organiser leur pratique du monde et d'autrui, non parce que ces schèmes seraient l'émanation de grands phylums culturels ou le produit de diffusions d'idées hasardeusement reconstruites » (p289). Si l'on veut comparer la pensée scientifique et la pensée traditionnelle indienne, alors il est possible de comparer l'« ontologie naturaliste » et l'« ontologie analogique » proposées par Descola, car elles correspondent respectivement à l'Europe moderne scientifique et l'Inde brahmanique. Nous avons décrit ces caractéristiques en annexe 14. Nos entretiens nous permettent de constater que les physiciens français ne sont pas si *naturalistes* (dans le sens que lui donne Descola) que cela : les physiciens indiens semblent bien plus attachés au déterminisme que les français, quant à la question d'opposer l'esprit humain aux autres éléments de la nature, là encore les physiciens français ont moins tendance que les physiciens indiens à séparer la conscience de la matière vu que, pour eux, elle est plutôt matérielle. Mais il est vrai qu'ils ont tendance à réduire les caractéristiques de cet « esprit », les physiciens indiens accordent plus d'existence à la dimension non matérielle et transcendante. Une physicienne de notre panel raconte qu'« en Inde, on a une autre appréhension du réel » (U.T) Tout en disant cela, elle fait un geste au-dessus de son téléphone, comme pour signifier qu'il y a quelque chose qui dépasse les limites matérielles du téléphone. « En Europe, on voit uniquement le téléphone. En Inde, on voit quelque chose de plus », dit-elle. Cette position pourrait sembler caricaturale, mais elle partagée par un certain nombre de physiciens rencontrés. Pour le physicien K.M, « il existe une sacralisation de la nature, présente partout : *Tat tvam asi*, « toi aussi tu es cela ». Vraiment chaque indien connaît ça. Même si pour certains c'est dans le fait de ne pas écraser la fourmi qui est la grand-mère réincarnée, ou bien être végétarien. La nature est sacralisée. C'est l'imbrication du microcosme et du macrocosme. Donc, connaître le monde physique est sacralisé. La pratique scientifique est comme une sorte de prière à la nature » dit-il. Ce *Tat tvam asi* dont il parle est un principe récurrent qui nie toute

coupure entre l'idée qu'on se fait de soi-même et l'idée qu'on se fait de la réalité perçue (Pirsig 2013 p155). Cette conception de la nature n'a peut-être pas d'influence sur leur démarche scientifique, il faudrait l'étudier plus précisément pour le mesurer. Pour la physicienne U.T, « il y a en Inde, tout un savoir non écrit. Il suffit de vous poser à un endroit, dans la rue et de rester là à observer. Tout un savoir va petit à petit vous devenir perceptible », dit-elle. « On croit au karma, explique-t-elle, et donc, chaque chose a un sens. Du coup ça joue sur notre manière d'être, de faire de la science, de gérer une équipe, d'enseigner avec des étudiants. Et pour les phénomènes, ils ont aussi un sens ». (*Everything has a meaning*) dit-elle. Le philosophe indien des sciences Sundar Sarukkai explique dans un entretien que nous avons eu : « all Indian tendencies believe in the action of spirit. That is declined through the belief in karma, in astrology. Even time has good and bad qualities. This is more about conceptions of time and space. And the conception of spirit. The French are far more modernist. Indian society is a religious society whatever it says. The French are not. » Si les physiciens indiens reconnaissent l'existence d'une dimension non matérielle, tout comme les Français –même si ceux-ci la reconnaissent moins- ils ont surtout comme différence la conviction qu'un accès à cette dimension est possible via une autre forme de connaissance que la science, sans pour autant le mettre en pratique. En tous cas, les physiciens français n'ont pas évoqué cette dimension « transcendante ».

Certes, l'Inde vit des changements profonds. Mais l'importance de la religion reste une valeur commune aux Indiens de même que la famille. La famille et la religion tiennent des places essentielles, « ce sont elles qui donnent de l'assurance » a dit un étudiant rencontré. Celui-ci estime que les anciens critiquent le modèle occidental (et sa science, sa technologie, mais aussi ses modes de vie) qui fait changer les mentalités, rend les gens plus individualistes, éloigne des familles. « Avant il y avait une confiance dans les anciens, dans les parents, la religion. Cela apportait une sérénité » dit une étudiante. Certains physiciens constatent un regain des jeunes pour les événements et rituels religieux. La physicienne L.Z dit qu'à son époque (elle a plus de 60 ans), c'était plutôt bien vu de ne pas être croyant, et c'était la majorité dans son collège. Mais aujourd'hui, elle trouve que les gens sont plus croyants, même les jeunes. Est-ce qu'ils ont besoin de croire davantage se demande-t-elle ? Les Indiens se livrent encore volontiers en grand nombre aux rites domestiques, aux jeûnes (*vrata*) aux célébrations de fêtes religieuses et aux visites de lieux de pèlerinage, même lorsqu'ils sont intellectuels de gauche (nous avons été hébergés chez certains d'entre eux et l'avons constaté). Dans l'ensemble ils sont assez peu pratiquants. Ainsi, le post-doctorant U.N raconte qu'autour de lui, beaucoup de gens vont au temple, mais peu vivent une spiritualité de l'intérieur. Un certain nombre pratique les pujas

(prières, rituels) et presque tous vont au temple. A.J raconte qu'il a beaucoup de collègues scientifiques qui sont très croyants, et que ça ne leur pose pas de souci. Mais lui ne trouve pas de logique à la réincarnation, à l'astrologie. Il lui arrive quand même de pratiquer des rituels chez lui. U.N par exemple, ne s'estime d'aucune religion. Ses parents, hindous, l'emmenaient au temple, mais c'était plus un acte social. Il y va encore, plus parce qu'il aime entrer dans les temples, cela lui procure une paix intérieure. Il participe aussi à des fêtes religieuses, avec ses amis, sa famille. R.K est issu d'une famille pratiquante hindoue ; quand il rentre chez lui, pour ne pas les heurter, il participe aux *pujas* (prières). Son père désapprouve son absence de religiosité. Il est devenu critique en grandissant, en développant sa capacité de réflexion, avec son éducation. Il trouve qu'en Inde (et ailleurs) la religion a tendance à dominer, manipuler. J.O avait une mère très croyante et pratiquante, qui faisait souvent des jours de jeûne. Lui, en fait un peu, mais essaie de dissuader sa mère d'en faire autant. On voit que nos physiciens se situent souvent en décalage par rapport à leur famille, au sujet de la religion. Mais nous avons aussi constaté que le cynisme religieux n'était pas très présent parmi les physiciens interrogés, qu'ils soient jeunes ou vieux.

Il est délicat de décrire les modes de pensée traditionnels ou modernes, on ne peut les faire rentrer dans des cases figées, d'autant qu'elles sont en transformation permanentes. Les mots mêmes de « traditionnel » et « moderne » ne semblent pas adéquats.

À la question de savoir si les physiciens indiens ont dû « abandonner » leurs valeurs pour adopter celles de la science moderne, il est difficile de répondre. Car nous avons comparé avec des physiciens français, et pas avec des physiciens de manière générale. Nous ne pouvons affirmer que les Français représentent les valeurs universelles de la science. Il nous faudrait beaucoup d'autres pays en comparaison.

Est-ce que les Indiens sont avantagés pour penser la physique contemporaine de par leur style thématique ? Là nous pouvons répondre. Certaines rengaines de la physique moderne tournent autour de la place accordée au chaos (indéterminisme), le systémisme et la complexité, la subjectivité, l'interdisciplinarité. Les physiciens indiens ne sont pas plus ouverts à l'indéterminisme, au contraire, ni à l'interdisciplinarité. Ils le sont davantage au systémisme et à la subjectivité. Donc, la réponse est oui et non ! Au final, ils ne sont pas plus ou pas moins avantagés que les physiciens français, mais sur d'autres paramètres.

Conclusion de cette sous-partie

Nous avons élargi notre thèse sur une discussion plus large que la comparaison des *themata* des physiciens indiens et français. Nous avons inséré cette analyse dans le débat plus vaste de la rencontre en forme traditionnelle de savoir sur le monde, et forme scientifique de savoir sur le monde. Nous avons constaté que les physiciens adoptaient un mode de connaissance scientifique, tout en gardant des traits culturels propres sur les représentations du réel issues de ce savoir. La science ne gomme donc pas toutes les différences d'accès à la connaissance. Elle propose par ailleurs une connaissance sur le monde matériel et ne propose rien sur l'immatériel (les relations aux autres, aux êtres vivants, à la spiritualité, etc.) qui, lui, peut se voir interprété par des modes traditionnels de connaissance.

VII.E. PASSAGE DE LA PENSÉE INDIVIDUELLE À LA PENSÉE SCIENTIFIQUE : RECOURS AUX COSMOGRAMMES

À présent, nous allons porter notre analyse dans le débat concernant l'articulation entre l'identité individuelle et l'identité collective. Quand nous parlons de l'identité culturelle d'une personne, nous signifions son identité globale qui est une constellation de plusieurs identifications particulières à autant d'instances distinctes » (Férreol et Jucquois 2004 p22). Nous venons de décrire la rencontre entre l'esprit scientifique et l'esprit traditionnel. Comment se vit cette rencontre entre ces deux modes de représentation, ces deux types de référence au monde ? Prenons l'exemple de cet étudiant en master de physique rencontré à Bombay, dont le grand-père est astrologue. Il ne croit pas en la réincarnation, dit-il, faute de preuve scientifique. Pourtant, dans le cas de l'astrologie, il ne réclame pas de preuve scientifique, et il y croit. Cet exemple est une déclinaison parmi d'autres des mondes aux valeurs différentes dans lesquels vivent les physiciens. Nous aimerions mieux comprendre pourquoi des individus issus d'une même culture scientifique, d'un même domaine de recherche, et d'un même milieu social possèdent des *themata* différents ? Certaines réponses ont pu être apportées par différents auteurs. Pour G. Bachelard, il y a des causes psychiques qui influencent les adhésions des savants à certains modèles théoriques (Bachelard 1938), pour J-M. Berthelot, il y a des causes affectives (Berthelot 1990), M. Quidu parle de « significations, affects et valeurs intimes, en résonance avec des expériences vécues mémorables et des problématiques personnelles » (Quidu 2009 p10). Il y a aussi des « causes raisonnables » (Boudon 2003) : un chercheur a de « bonnes raisons » de privilégier certains *themata*. Boudon estime que des croyances s'expriment souvent en termes de mixte entre sentiments et raisons. De notre côté, nous envisageons l'influence culturelle comme explication de grandes tendances individuelles,

même si des parcours personnels peuvent modifier ces tendances. Avec une analyse poussée sur des parcours personnels, nous pourrions discriminer dans une même personne, ce qui relève du *thema* culturel ou individuel. Il serait ainsi envisageable de faire une étude physicien par physicien. Cela nécessite de se pencher uniquement sur une poignée de physiciens, 3 ou 4 maximum et d'étudier tout leur parcours de recherche. Cela a été fait dans certaines disciplines comme par exemple M. Quidu qui a analysé le cas de quelques individus, et le lien entre leurs parcours personnels, affectifs, et leurs *themata*. Il montre que le premier temps décisionnel inhérent au développement d'un programme de recherche est canalisé par des préférences thématiques résultant d'une implication affective et éthique du chercheur (Quidu 2009). La même démarche pourrait être faite en focalisant sur des physiciens dans le domaine quantique. Nous pourrions aussi étudier le cas de deux frères physiciens que nous avons sélectionnés dans notre panel, l'un théoricien, l'autre expérimentateur. Nous pourrions les comparer utilement, eux qui sont issus d'une culture qu'on peut difficilement faire plus proches. Comment sont leurs *themata* ?

Il existe peu de travaux en anthropologie qui s'intéressent à la manière dont la relation entre les savoirs est conçue parmi les scientifiques. En effet, la coexistence entre plusieurs systèmes de représentation et d'explication du monde est loin d'aller de soi. Des anthropologues ont étudié les « raisonnements multiformes » (multiform reasoning) (Khare 1993) ou les « multiples ordres de réalité » (multiple order of reality) (Tambiah 1984). Ils étudient comment des stratégies d'évaluation et de négociation sont mobilisées afin de définir des relations cohérentes et des hiérarchies entre des cosmologies potentiellement conflictuelles tout en établissant des relations de complicité ou bien de compétitions entre spécialistes – mais des scientifiques. Ils montrent que les différentes approches de connaissance ne sont pas mutuellement exclusives et se trouvent souvent combinées dans la pratique. Pour Tambiah, « Un physicien nucléaire ou un biologiste moléculaire japonais, russe, américain ou indien acceptent l'évidence et la preuve au sujet de problèmes techniques, quelles que soient leurs autres différences, ils peuvent entrer dans une sorte de « discours de contexte » et partager les conventions d'un « réalisme interne » qui est focalisé sur la variété de leurs tests sur la réalité. Pour lancer une fusée ou soigner un cancer, ils doivent utiliser la même science » (Traduction de Tambiah 1984 p141). En dehors de cela, ils sont mus, dans d'autres contextes par une représentation que Tambiah nomme « participante », et notamment, dans des contextes familiaux, culturels. Tambiah par exemple décrit l'un des critères de la « représentation causale » : la fragmentation successive des phénomènes et de leur atomisation dans la construction du savoir scientifique, alors que pour la « représentation participante », il s'agit de reconnaissance de formes et totalisation des

phénomènes avec un sens de l'unité englobante cosmique (p109). Il faut bien préciser qu'il parle de prédominance, car il va sans dire que les deux représentations sont présentes, mais à plus ou moins forte dose. Tambiah parle aussi de « multiples orientations de la réalité » ou « ordres de réalité » en s'inspirant du phénoménologue Alfred Schutz, pour qui « les réalités multiples surgissent du fait de la variété des besoins de la conscience et des schèmes d'interprétation qui lient les deux » (Schutz 1962). Schutz montre qu'au-delà du monde du quotidien, qui est le monde social par excellence, il y a le monde des rêves, le monde de l'art, le monde de la science, le monde de la religion. En montrant que ces mondes sont partiellement autonomes et irréductibles l'un à l'autre, Schutz a donné un autre argument puissant pour l'ouverture et la multiplicité de l'esprit humain" (Tambiah 1990 p101).

Lors de nos entretiens, nous avons abordé le sujet du rapport à la tradition, avec les physiciens indiens. Il se dégage chez eux l'adoption d'un esprit scientifique : ils se montrent des défenseurs ardents de la pensée scientifique, au moins dans leurs discours, en tous cas plus que les Français. Nous avons pu le constater lorsque, au sujet de l'astrologie, qu'ils rejettent du cadre scientifique de manière plus importante que les physiciens français, alors qu'elle est bien plus pratiquée dans leur pays. Dans son ouvrage *Cogitamus* (Latour 2010), l'anthropologue des sciences, Bruno Latour nous invite à une réflexion sur l'ambivalence entre astrologie et rationalité. Il prend l'exemple d'une page du journal de Galilée, datant du 19 janvier 1610, où se voit un dessin des cratères de la lune en haut et, en bas, un horoscope destiné à son riche protecteur. La plupart des traités d'histoire des sciences, explique-t-il, publient seulement la partie du haut et oublient l'horoscope. Ce qui donne l'impression que Galilée génial découvre l'astronomie hors contexte, comme les légumes hors sol. « La deuxième solution, explique Latour, consiste à publier toute la page en disant que Galilée possède une « âme divisée entre deux mondes » : la « modernité » à laquelle il introduit son dessin de la Lune et « des restes d'attachement à un passé mythique et archaïque » » (p114). À en croire ce récit, s'il n'était pas enchaîné par ce reste d'archaïsme, il serait complètement moderne et n'aurait dessiné que des cratères, pas des horoscopes. « Avec une telle interprétation de la transition vers la modernité, poursuit Latour, on fait de Galilée non pas comme nous tous, une personnalité multiple dans un monde multiple, mais plutôt un schizophrène dans un monde coupé en deux. Le grand épistémologue français Gaston Bachelard, a théorisé ce dualisme jusqu'à l'extrême, faisant de cette schizophrénie, la définition même du savant en quête de son « esprit scientifique ». Le savant serait, d'après lui, celui qui se bat contre lui-même, qui s'extrait toujours du passé obscur qui risquerait de le dévorer. Il nous a donc semblé intéressant de savoir si les physiciens indiens se « battent contre eux-mêmes », cherchant à s'extraire de leur tradition. Doit-on la considérer divisée entre deux

mondes, entre la modernité et l'archaïsme ? Latour nous invite aussi à penser les multiples orientations de la réalité. Tout comme nous, estime Latour, Galilée est une personnalité multiple dans un monde multiple. Le savant n'est pas ; pour Latour – au contraire de Bachelard- « celui qui se bat contre lui-même et cherche à s'extraire toujours du passé obscur ».

L'anthropologue Caterina Guenzi, qui a étudié l'astrologie dans l'Inde contemporaine écrit dans *Le discours du destin* (Guenzi 2013): « A Bénarès, comme ailleurs en Inde, les plus voraces consommateurs d'horoscope sont les familles de fonctionnaires, d'hommes d'affaire, de politiciens, de célébrités (acteurs de Bollywood, joueurs de cricket, etc.), d'universitaires, d'ingénieurs, de docteurs, d'avocats ou d'informaticiens. L'astrologie est particulièrement appréciée dans ces milieux aisés, non seulement parce qu'elle fournit un support dans le processus de *decision making*, carrière, voyages, investissements financiers, repérage de partenaires matrimoniaux, choix des écoles pour les enfants, etc. qui marque le quotidien de ces familles, mais aussi parce qu'elle est regardée comme un savoir, plus que la religion, présente des affinités avec le langage de la « science » et se greffe bien sur les innovations technologiques et informatiques que l'on associe au « progrès » dans l'Inde d'aujourd'hui. Parce que les horoscopes se basent sur des calculs mathématiques, qu'ils peuvent être élaborés par ordinateurs et que l'astrologie est diffusée en Inde comme aux États-Unis ou en Australie ainsi que sur internet » (p22). L'astrologie est « regardée comme un savoir novateur, global et cosmopolite, qui serait emblématique de la modernité » (p23). L'un de nos physiciens, K.L, trouve qu'en Inde, l'astrologie est considérée comme rationnelle. C.Guenzi confirme : « Elle est en effet regardée comme une discipline qui permet de concilier rationalisme scientifique et dévotion religieuse, observation empirique du naturel et apaisement des puissances surnaturelles, innovation technologique et célébration des rituels anciens, gestion pragmatique des problèmes quotidiens et conformité à un ordre cosmique transcendant »(p24). L'écrivain Ramanujan évoque le cas de son père, qui était astronome, mathématicien et également astrologue et qui s'accommodait parfaitement de ce double statut : « He had two kinds of exotic visitors: American and English mathematicians who called on him when they were on a visit to India, and local astrologers, orthodox pundits who wore splendid gold-embroidered shawls dowered by the Maharajah. I had just been converted by Russell to the « scientific attitude ». I (and my generation) was troubled by his holding together in one brain both astronomy and astrology; I looked for consistency in him, a consistency he didn't seem to care about, or even think about. When I asked him what the discovery of Pluto and Neptune did to his archaic nine-planet astrology, he said, « You make the necessary corrections, that's all » (1989 p43). « In answer to how he could read the Gita religiously having bathed and painted on his forehead the

red and white feet of Viśnu, and later talk appreciatively about Bertrand Russell and even Ingersoll, he said, « The Gita is part of one's hygiene. Besides, don't you know, the brain has two lobes? » (Ramanujan 1989). Ramanujan fait le lien entre cette tolérance indienne et les multiples réalités d'Alfred Schutz que nous venons d'évoquer. Il évoque aussi les sous-univers de William James. Latour fait de même. Lorsqu'il emprunte à William James le terme de « multivers ». Il utilise ce mot pour laisser ouverte la question des moyens par lesquels s'unifie ou ne s'unifie pas la diversité des orientations de la réalité, qu'il appelle des « cosmos ». « Je dis donc que nous vivons tous, choses et gens, dans le multivers et que l'on peut maintenant déceler des manières diverses et souvent contradictoires de donner à ce plurivers son ou ses unités. Au lieu de partir d'une nature unifiée, c'est le travail d'unification par le schème de la nature qui va se placer au premier plan. C'est là que l'exercice qui consiste à dessiner les cosmogrammes va se révéler bien utile. Grâce à eux, au lieu d'utiliser la nature comme fond de tableau sur lequel se détacheraient d'autres phénomènes, par exemple les cultures, nous allons observer de combien de façons différentes, le multivers peut être composé » (Latour 2010 p195).

Il nous a donc semblé intéressant de savoir si les physiciens indiens se « battent contre eux-mêmes », cherchant à s'extraire de leur tradition ou bien s'ils relèvent plutôt d'une autre option, présentée par Bruno Latour : ils s'efforcent de recombinaison la multiplicité des injonctions contradictoires que leur époque (leur culture) paraît leur imposer. « Vues ainsi, les âmes (des scientifiques) ne sont plus alors partagées entre l'attachement et le détachement, cela n'a plus de sens. Elles sont attachées forcément, mais elles s'efforcent de lier autrement des éléments disjoints quand ils deviennent peu à peu incompatibles entre eux » (p117). Il nous semble que les physiciens indiens s'efforcent de recombinaison la multiplicité des interprétations du réel, issues de la science, issues de leurs traditions, et de leur histoire personnelle.

Pour Latour, « Est moderne celui qui fuit un passé dans lequel la vérité des faits et les illusions des valeurs se mêlaient inextricablement » (p116). Nos physiciens indiens font bien la distinction entre la vérité des faits et les valeurs. Mais ils ne considèrent pas nécessairement ces valeurs comme des illusions. Celles-ci constituent le rapport au réel. Latour montre qu'il ne s'agit pas d'opposer la science d'un côté et la déraison de l'autre, mais plutôt le choix d'une science au milieu des autres et même à l'intérieur de cette science, d'une manière de faire, d'un paradigme, d'un style de recherche voire des idées qu'ils se font sur comment doit tourner le monde. Il semble qu'effectivement les physiciens indiens recombinaison les différentes représentations et parfois contradictions qui s'opèrent en eux, mais ils se situent quand même fortement dans la quête de l'esprit scientifique, défendue par Bachelard. Ils revendiquent la

pensée scientifique et l'esprit critique, de manière plus forte encore que les physiciens français. Par exemple, ils reviennent régulièrement à leur statut de physicien pour exprimer leurs réponses comme R.W, qui dit qu'elle ne peut pas penser en dehors de sa lunette de physicienne. Nous avons vu aussi leur tendance à se montrer critiques envers les formes de superstition qui les entourent. Critiques, mais pratiquants. Cela n'est pas sans évoquer l'espace des phases en mécanique quantique. Le système quantique se projette sur un axe dans un contexte déterminé. Les physiciens arborent des lunettes de physiciens dans un contexte, et le déposent dans un autre. Pour en être certain, il faudrait les voir dans d'autres contextes. Ce qui serait un autre objet de recherche.

Est-ce gênant pour les physiciens de jongler avec ces cosmogrammes ? Des études (Krogh and Thomsen 2005) ont montré que le fait, pour des scientifiques, de passer d'un monde à l'autre (leur famille, le milieu scientifique), quand ces mouvements nécessitent différentes valeurs ou normes, peut engendrer des implications dans la qualité de vie et de réussite professionnelle. Le sociologue Laurent Thévenot parle ainsi d'« une personnalité à tiroir » (Thévenot 2006). . Quand les Indiens apprennent la science, les affaires ou la technologie, écrit encore Ramanujan, ils compartimentent leurs intérêts : les nouvelles formes de pensée et de comportements ne remplacent pas les anciennes voies religieuses, mais parviennent à coexister avec elle⁶⁵ (Ramanujan 1989 p47). Cela semble être le cas pour la plupart des Indiens que nous avons rencontrés. Certains physiciens rentraient en conflit avec leur famille sur ces sujets, mais la plupart semblent jongler assez facilement avec ces cosmogrammes. Pour Varma (2005), la capacité de compartimenter son esprit constitue à la fois une faiblesse et une force. Une force, car l'attachement à la tradition ne constitue pas une barrière pour un monde scientifique ou technologique. Une faiblesse, car la science ne changera pas les préjugés et superstitions. Il estime que les Indiens n'ont en général pas besoin de se débarrasser de tout un arrière-plan de traditions. Ce qui procure une grande adaptabilité même si celle-ci retarde ou empêche la modernité effective.

Ramanujan écrit "About twenty years ago, *The illustrated weekly of India* asked a number of modern Indian intellectuals to describe the Indian character. They all seemed to agree on one thing: the Indian trait of hypocrisy. Indians do not mean what they say, and say different things at different times. [...] It is not a matter of inadequate education or lack of logical rigor. They

⁶⁵ "When Indians learn, quite expertly, modern science, business, or technology, they 'compartmentalize' these interests the new ways of thought and behaviour do not replace, but live along with older 'religious' ways" écrit Ramanujan (1989, p47).

may be using a different logic altogether ». Il semble qu'ils soient particulièrement aptes à compartimenter leur pensée et utiliser des discours de circonstance.

Pour le prix Nobel A. Sen, cette ouverture d'esprit, qu'il voit comme favorable au développement de la pensée scientifique, est due à l'hétérodoxie. Il est indispensable, dit-il, de reconnaître le poids historique de l'hétérodoxie indienne pour parvenir à cerner les processus intellectuels qui ont survécu (Sen 2006 p45) . On remarque encore de nos jours une ouverture au pluralisme dans la formulation juridique de la laïcité qui figure dans la constitution de l'Inde indépendante. La laïcité indienne a eu tendance à mettre l'accent sur la neutralité en particulier plutôt que sur l'interdiction en général, elle accueille donc toutes les formes de signes ou pratiques religieux. La laïcité française en comparaison est plus rigide : les fonctionnaires n'ont pas le droit d'afficher des signes personnels d'appartenance confessionnelle ni de respecter les coutumes religieuses à l'intérieur de leur lieu de travail. Ces deux pays illustrent deux approches différentes de la laïcité : la neutralité par rapport aux diverses religions (Inde) ou l'interdiction des associations religieuses dans les activités étatiques (France). Ces exemples illustrent la prégnance, dans le mode de pensée indien, d'une pluralité de vues. Nous avons pu la remarquer dans nos entretiens, par exemple au sujet de la science et de la religion, qui ne sont pas perçues comme conflictuelles, alors que c'est le cas pour la majorité des physiciens français. Comme l'expliquent plusieurs de nos physiciens indiens, la religion est très souple en Inde, et tout peut y être intégré, la science en fait partie. Dans son article dans le journal *Isis*, « The Enchantment of Science in India », Shruti Kapila explique que le développement de la science moderne en Europe était une rupture, un désenchantement catégorique avec Dieu. En revanche, en Inde, ni l'exil, ni la mort de Dieu ne pourrait jamais être déclaré, cela n'est pas du domaine du possible. Pour Kapila, il ne s'agit pas d'aller dans le sens de la posture orientaliste qui revendique la nature intrinsèquement spirituelle de la civilisation indienne en contraste avec le matérialisme de l'Occident, il s'agit de dire que la science s'est évertuée à dialoguer avec la religion en reformulant cette dernière. (Kapila 2010) (p132). En d'autres termes, l'inéluctabilité de la science n'a pas eu les mêmes conséquences politiques ou religieuses en dehors de l'Europe et, plus particulièrement, en Inde. Karl-Stephan Bouthillette (2012) explique bien comment se fait cette accommodation de la science par la religion et inversement.

Conclusion de cette discussion au sujet des cosmogrammes

La conclusion de cette discussion sur les cosmogrammes, c'est-à-dire le rapport entre la pensée individuelle, la pensée traditionnelle et la pensée scientifique est que les deux approches scientifiques et traditionnelles coexistent relativement bien parmi les physiciens indiens, dans

Chapitre VII. Questionnements et critiques methodologiques : de la pensée individuelle à la pensée scientifique

la mesure où l'une (la science) s'intéresse au monde arpentable, à la réalité matérielle, tandis que la tradition s'intéresse à la « métaréalité », concerne la sphère des relations sociales et spirituelles. Certes, les physiciens adoptent volontiers un esprit critique et scientifique, mais celui-ci n'empêche pas l'autre. Dans nos précédents chapitres d'analyses, nous avons remarqué que l'adhésion à la pensée scientifique par les physiciens indiens ne semble pas avoir éliminé totalement les différentes représentations du réel issues des formes traditionnelles de connaissance. Dans ce chapitre-ci, nous décrivons comment cette pensée scientifique est corrélée à un fort esprit critique, visible parmi les physiciens indiens.

VIII. CONCLUSION GÉNÉRALE

Rappelons quelles étaient nos questions, nos hypothèses et notre problématique.

Nous avons introduit cette thèse avec un certain nombre de questions.

Est-ce que les représentations scientifiques sur la réalité – les *themata*- ont des spécificités, des manifestations, des effets différents selon les pays auxquels appartiennent les scientifiques ? Nous ne prétendons pas y avoir répondu de manière générale, ce serait un projet trop ambitieux compte tenu de notre corpus. Nous avons cherché plus spécifiquement à étudier un groupe assez restreint de physiciens et à proposer un outil d'analyse : les « styles thématiques locaux ». A l'issue de cette recherche, nous estimons que cet outil pourrait être utilisé pour d'autres analyses touchant d'autres pays ou d'autres disciplines que la physique. Et avec davantage de travaux sur ce thème, on pourrait envisager une mise en généralité.

Notre recherche a décelé des différences de *themata* entre les physiciens indiens et français rencontrés, des ressemblances aussi parfois, mais surtout de nettes différences. Devant les différences observées entre Indiens et Français, nous avons cherché des raisons possibles à ces différences. Nous avons aussi cherché à voir si d'autres paramètres comme l'âge ou la discipline de recherche conduisaient à de telles variations, mais ce n'est pas le cas dans les résultats. Nous avons donc cherché ce qui, dans les cultures de ces physiciens, pouvait entraîner des explications dans les différences liées aux modes de représentations du réel. Pour cela, nous avons puisé dans l'histoire philosophique et savante de ces deux pays. Une certaine dissymétrie marque la comparaison des physiciens français et des physiciens indiens. Un travail de recherche ultérieur pourrait permettre de rétablir cet équilibre.

Une autre question a été posée, au début de cette thèse. Les différences de *themata* entre scientifiques aux origines différentes ont-elles une influence sur la recherche ? Autrement dit, est-ce que la culture, par le biais des *themata*, influence la démarche scientifique ? Nous avons

là une question subsidiaire à laquelle nous avons aussi cherché à répondre dans le cadre de cette thèse.

Méthode

Pour répondre à ces questions, nous avons ciblé deux groupes de scientifiques afin d'élaborer une comparaison. Nous avons choisi de nous intéresser aux physiciens indiens et français. Nous avons ensuite ciblé un domaine du réel et de la connaissance scientifique qui nous donne l'opportunité d'étudier les *themata* des physiciens : la théorie quantique et ses interprétations. Celle-ci fournit en effet un excellent support de révélation des *themata*. Nous avons sélectionné 37 physiciens indiens et 35 physiciens français, nous avons établi des entretiens et une analyse de certains de leurs écrits. Nous y avons étudié leurs *themata* et observé les différences et ressemblances.

Notre thèse

Notre thèse est que les physiciens indiens et français relèvent de *themata* différents, qui peuvent avoir une origine culturelle et qui, par ailleurs, est susceptible d'influer leur interprétation de la théorie quantique.

Nous avons pu répondre à notre problématique. Et nous avons par ailleurs pu observer d'autres éléments. Cet ensemble se regroupe en différents résultats.

Nos principaux résultats : réponses aux questions de la problématique

Les physiciens indiens et français **rencontrés** ont des adhésions thématiques différentes **dans le cadre de la mécanique quantique**.

D'après notre analyse, les sous-structures culturelles de la pensée que sont les *themata* demeurent dans les manières qu'ont les physiciens de se représenter le réel. La méthode scientifique est mondialisée, mais les *themata* préservent certaines particularités locales et culturelles. **Ce résultat et tous ceux qui suivent doivent s'entendre dans le cadre restreint de nos**

deux groupes de physiciens (Indiens et Français) et dans le cadre restreint de la physique quantique.

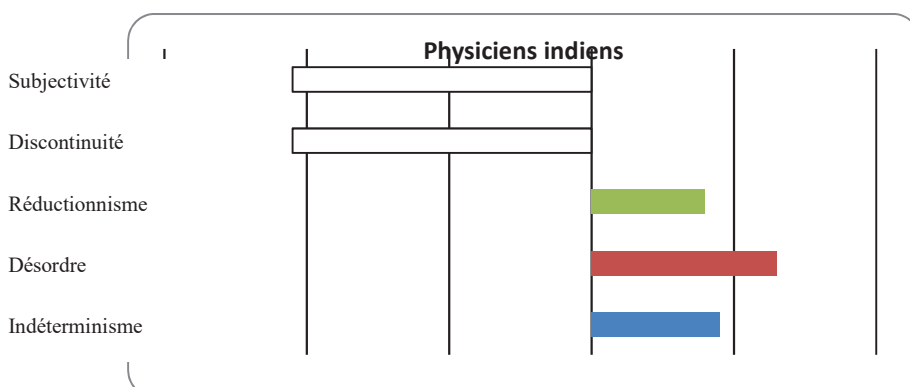
Ainsi, d'après l'analyse du chapitre IV, les **physiciens indiens rencontrés** apparaissent

- plus déterministes que les Français,
- plus attachés à l'appréhension discrète de la matière, et non comme un continuum,
- accordent un rôle plus important au caractère subjectif de la connaissance, et conçoivent la conscience davantage comme immatérielle,
- ont une approche plus systémique, des phénomènes naturels,
- conçoivent ces phénomènes davantage comme obéissant à un ordre auxquels ils ont davantage tendance à vouloir s'adapter que transformer.

Les physiciens français **rencontrés** apparaissent

- plus indéterministes que les Indiens,
- plus attachés à l'appréhension continue de la manière,
- accordent un rôle plus important au caractère objectif de la connaissance, et conçoivent la conscience davantage comme matérielle,
- ont une approche légèrement plus réductionniste des phénomènes,
- perçoivent moins l'ordre derrière ces phénomènes que les physiciens indiens.

Cette description peut se schématiser sous forme de graphique (figure 26) en reprenant les représentations proposées pour chaque *thema*, au chapitre IV, et simplement en les mettant les uns à la suite des autres, pour les physiciens indiens d'une part, et pour les physiciens français d'autre part.



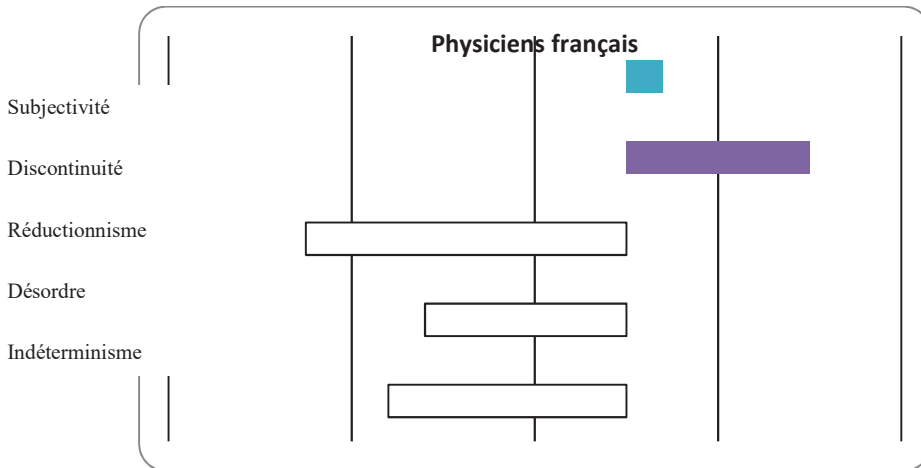


Figure 26: Adhésion des médecins français aux différents couples thématiques. Les données sont issues des analyses du chapitre IV.

Voici une autre forme de présentation de ces résultats (figure 27), dans laquelle on ne représente plus les couples thématiques, mais simplement les *themata*. Ceux-ci ne sont plus alors représentés sur une échelle de -1 à 1, avec la neutralité à 0, mais sur une échelle de 0 à 1, avec la neutralité à 0,5. De cette manière, on peut juger de l'adhésion des médecins à un *thema* plutôt qu'à un couple thématique. Cela fournit une vision un peu différente, même si au final, ils sont basés sur les mêmes données et coefficients.

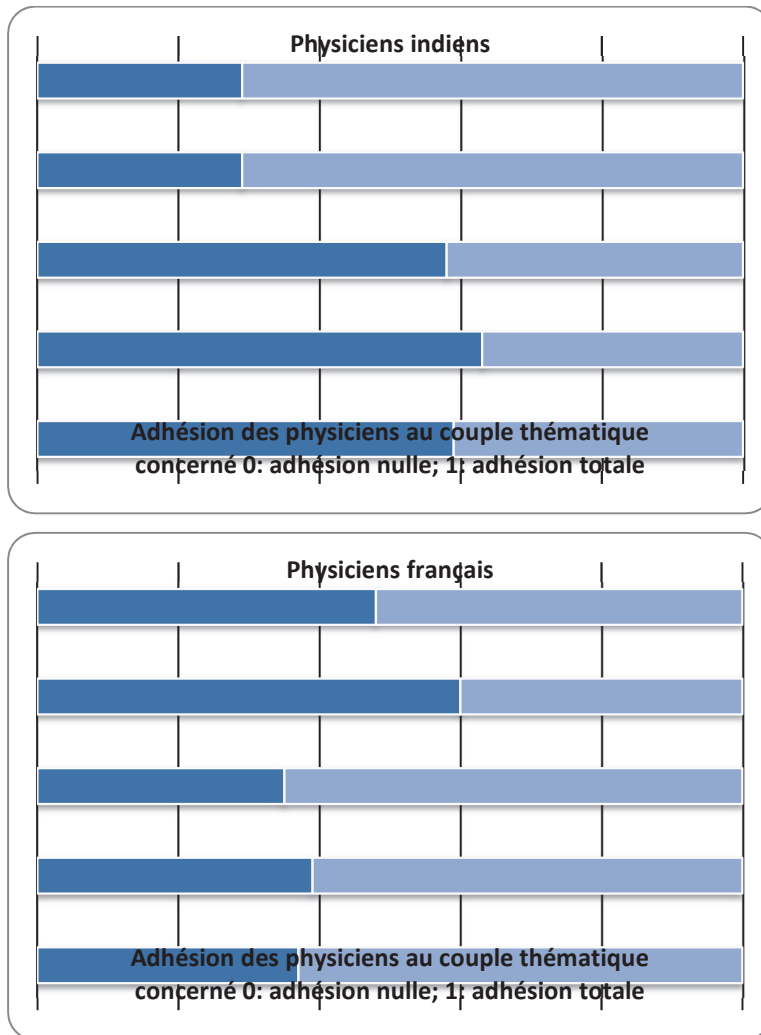


Figure 27: Adhésion des médecins aux différents *themata*. Les données sont également issues des analyses du chapitre IV. Mais la présentation est différente, on figure les *themata* plus que les couples de thématiques et l'échelle est de 0 à 1, au lieu de -1 à 1.

Avec l'utilisation des statistiques, nous schématisons un ensemble de postures tendancielle. Par l'analyse qualitative, nous touchons aux représentations en prenant en compte leur complexité.

Dans l'analyse des corrélations (**logiques plus que statistiques**) entre les questions et entre les *themata*, nous observons que les couples déterminisme/indéterminisme et ordre/désordre sont indépendants des autres *themata*. Par contre, les couples objectivité/subjectivité, réductionnisme/systémisme et continuité/discontinuité apparaissent reliés entre eux. L'adhésion à l'un semble induire l'adhésion aux deux autres : le choix de l'objectivité semble ainsi être lié au choix de la discontinuité et du réductionnisme et inversement.

Les *themata* influencent peu la démarche scientifique.

Dans le chapitre V, nous avons observé que les *themata* interviennent dans la manière dont les problèmes d'interprétation de la théorie quantique sont perçus. Ce qui pose problème aux physiciens est souvent ce qui met en question leurs préférences thématiques, et la différence entre physiciens indiens et français apparaît assez nettement. Par contre, pour ce qui relève du choix d'une interprétation de la théorie quantique, nous observons une faible influence des *themata* et une faible influence de l'origine (Indiens ou Français). Nous pouvons l'expliquer par le fait que les différentes interprétations sont assez mal connues et aussi par le fait qu'elles peuvent être choisies en fonction de paramètres individuels comme des rencontres, ou des lectures, etc. Par ailleurs, ce choix d'une interprétation n'a pas de réelle influence sur le travail de mesure ou d'expérimentation. Quand il a une influence, c'est surtout pour les théoriciens. Il apparaît donc que les différences thématiques entre physiciens indiens et français ont peu d'influence sur le travail effectif des physiciens (cf. figure 26) – dans le domaine étudié, qui est la théorie quantique.

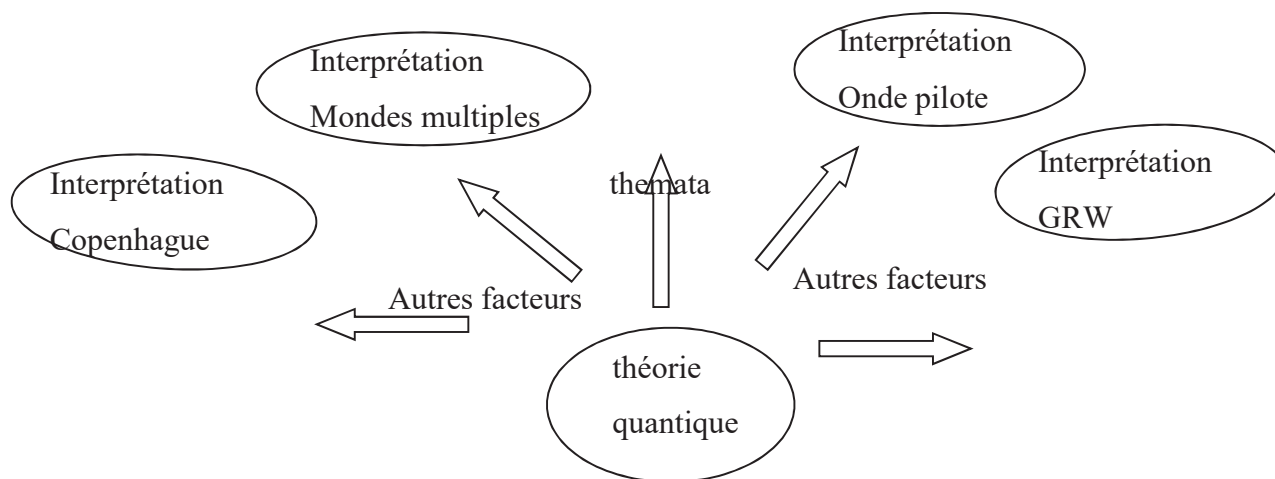


Figure 28: schéma du rôle des *themata* dans les choix d'interprétation de la théorie quantique.

Résultats secondaires

L'analyse qualitative des discours oraux ou écrits des physiciens nous ont permis de dégager d'autres constats :

Au sujet du déterminisme. Nous avons remarqué que les préférences des physiciens indiens et français au sujet d'une vision déterministe étaient basées sur des arguments et des critères différents, notamment sur ce que doit être la science. Pour beaucoup de

physiciens indiens, la science doit être déterministe. L'idée de la place de l'homme dans l'univers intervient aussi : pour les Français, la vision déterministe est triste (impuissance de l'homme) ; pour les Indiens, la vision indéterministe est inquiétante (incertitude).

Au sujet de la continuité. Une grande partie des physiciens français, voient la matière à la fois continue et discontinue spatialement. Ce n'est pas vraiment le cas pour les Indiens, même s'ils sont nombreux à reconnaître qu'il peut y avoir des contextes expérimentaux qui mettent en valeur un aspect plus que l'autre, ils estiment souvent que la nature fondamentale de la matière est le plus souvent discontinue, marquée par des ruptures. Alors que des physiciens indiens proposent de voir la continuité comme une propriété émergente du monde microphysique discret, on trouve chez les physiciens français la proposition inverse, de voir le caractère discret comme une propriété émergente. L'enjeu continu/discret se décline beaucoup autour de la question du vide, et l'adhésion ou non à l'idée du vide par les physiciens. Penser le discret implique d'accepter de penser le vide. L'adhésion à un des pôles continu/discontinu est principalement basée sur des modes de représentation personnels, ils sont peu basés sur des arguments scientifiques. On observe une certaine ouverture, chez les Indiens plus particulièrement, pour l'idée d'un espace discontinu, qui leur permet de penser la non-séparabilité quantique (cf. chapitre IV).

Au sujet de la subjectivité. Davantage de physiciens indiens accordent un rôle à l'observateur, ils se situent principalement du côté de l'objectivité faible (les résultats d'une expérience dépendent de l'observateur, mais sont les mêmes, quel que soit l'observateur) et de la subjectivité (les résultats sont différents selon les observateurs). Les physiciens français se situent en majorité du côté de l'objectivité faible, voire de l'objectivité forte (les résultats sont indépendants de tout observateur). Par ailleurs, les physiciens français sont plus nombreux que les Indiens à adopter une attitude matérialiste au sujet de la conscience, et aussi plus nettement partagés quant à l'état du système avant la mesure. Nous avons aussi observé que la plupart des physiciens qui conçoivent une part non matérielle à la conscience ont tendance à donner de l'importance à l'observateur sur l'état du système en physique quantique, bien souvent, pour eux, l'état n'est pas déterminé avant la mesure. Même si très peu estiment que c'est

la conscience qui « provoque » l'état du système. Il nous semble que ce constat est intéressant et qu'il mériterait une étude plus poussée.

Au sujet de l'ordre. Pour une majorité de physiciens indiens, il faut comprendre l'ordre et l'équilibre de la nature et s'y adapter. Pour eux, l'ordre est apporté par la nature plus que par la science, et c'est ce qui permet d'atteindre un juste équilibre. La science permet de comprendre cet ordre. Pour une majorité de Français, il faut trouver une attitude raisonnable envers la nature qui s'appuie sur une forme de contrôle. L'ordre est assimilé à un contrôle, apporté par la science plutôt qu'intrinsèque à la nature, c'est ce qui permet la prédictibilité (et la science). La nature est majoritairement vue comme ordonnée, davantage pour les physiciens indiens que français. Ces derniers accordent un rôle bien moins fort à la symétrie, alors que leurs homologues indiens estiment que la symétrie est « partout ». Elle y tient donc une place essentielle, pour eux, dans les théories et représentations du monde physique. La symétrie est, chez les physiciens indiens, synonyme d'ordre et d'équilibre. Pour les physiciens français, la symétrie n'a de véritable intérêt que lorsqu'elle est brisée.

Au sujet du systémisme. Nous observons que l'existence de propriétés émergentes et de dépendance aux relations, aux niveaux d'échelles et aux contextes est reconnue, mais n'empêche pas un espoir maintenu envers une théorie ultime et des constituants élémentaires. Le réductionnisme reste une attitude associée à la démarche scientifique, de même que la quête d'universalité et de simplicité. Ceci est valable pour les physiciens indiens comme pour les physiciens français.

Au sujet de l'origine culturelle des *themata*. Nous avons recherché les origines des différences de styles thématiques entre Indiens et Français. Nous avons trouvé des raisons probables dans les modes de pensée philosophiques et scientifiques anciens. Nous avons ainsi pu observer que la culture savante indienne ancienne accorde une place importante au sujet connaissant. Elle y est également pensée en relation, et de manière très contextuelle. Elle témoigne d'une conception très ordonnée et causale des phénomènes naturels. Nous y trouvons donc des formes thématiques préférentielles comme la subjectivité, la causalité et le systémisme. Nous remarquons d'ailleurs que les *themata* des physiciens indiens actuels rejoignent ces préférences, en partie. Nous interprétons ces résultats comme le fait que les formes traditionnelles de savoir

véhiculent des *themata* dont les structures sont encore sous-jacentes dans les modes de pensée actuels (chapitres II et chapitres VI). **Nous supposons que ces sous-structures sont transmises inconsciemment dans les enseignements historiques, philosophiques ou religieux, les mythes et les comportements quotidiens qui sont supportés par des représentations du monde. Mais ceci mériterait d'être étudié spécifiquement.**

Nous avons recouru au concept de « cosmogrammes » proposé par Bruno Latour, pour comprendre le passage entre la pensée individuelle, la pensée traditionnelle et la pensée scientifique. Nous avons observé que ces différents « cosmos » coexistent relativement bien parmi les physiciens indiens, dans la mesure où l'une (la science) s'intéresse au monde mesurable, à la réalité matérielle, tandis que la tradition s'intéresse à la « métaréalité », concerne la sphère des relations sociales et spirituelles. Certes, les physiciens adoptent volontiers un esprit critique et scientifique, mais celui-ci n'empêche pas l'autre. Nous avons par ailleurs observé parmi ces physiciens indiens un fort esprit critique et une grande admiration pour la science.

En parallèle de notre enquête sur les *themata*, nous avons interrogé les physiciens sur **les enjeux de la recherche mondiale**, afin de mesurer les différentes perceptions posées sur ces enjeux. Pour ce qui concerne leurs aspects internationaux, ces enjeux sont perçus de manière similaire par les Indiens et les Français : les enjeux de compétition liés à la course à la publication, le manque de recherche fondamentale. On trouve cependant une sensibilité plus forte des physiciens français pour l'interdisciplinarité, alors que les physiciens indiens n'y sont pas très favorables. Ensuite, les enjeux locaux de la recherche en Inde et en France sont perçus différemment : les physiciens indiens regrettent un manque d'opiniâtreté dans leurs objets et méthodes de recherche, les Français se plaignent d'une surcharge administrative. Ces problématiques locales sont liées à une histoire culturelle et économique différente. Ces dissemblances engendrent des approches de recherche différentes, par exemple en ce qui concerne la collaboration entre chercheurs et entre disciplines. Ces différents aspects mériteraient d'être approfondis.

Enfin, nous avons mis à jour quelques éléments de compréhension de la mécanique quantique par les physiciens. Ces aspects sont très intéressants pour mieux comprendre les enjeux de l'interprétation de cette théorie, en particulier sur les notions de non-séparabilité.

Notre apport à la recherche

Nous avons déployé un outil, les *themata*, dans un contexte qui ne lui est pas très familier, à la rencontre de physiciens aux origines géographiques et culturelles différentes, et nous avons montré en quoi il pouvait s’y révéler pertinent.

Nous avons proposé que les préférences philosophiques des scientifiques sur la structure du réel - que nous avons rangé sous le terme codifié de « *themata* » - rentrent dans la description d’un style de pensée scientifique.

Nous avons montré que ces styles de pensée scientifique, de manière générale, pouvaient se décliner selon des paramètres géographiques et culturels, liés aux histoires intellectuelles des différents pays. Ceci nous a conduits à élaborer le concept de « style thématique local » (STL). Nos « styles thématiques locaux » s’intéressent au socle commun qui enracine la représentation scientifique du réel.

Préconisations

Que peut nous apporter le fait que, selon la culture des chercheurs, ils n’accordent pas la même importance à un *thema*?

Les *themata* peuvent être vus comme des outils permettant de comprendre les différences de fonctionnement psychologique entre les physiciens, et idéalement, on pourrait les élargir à tout individu. Ils permettent de mieux saisir l’influence parfois inconsciente des valeurs épistémologiques qui traversent l’histoire des peuples.

Dans le domaine de la science, reconnaître l’existence de *themata* personnels permet d’éviter que l’engagement pour un *thema* induise des choix pour certaines théories ou interprétations, de manière inconsciente. Face à cette reconnaissance de l’existence de *themata*, une posture consiste à essayer de rompre avec eux, en les considérant comme des obstacles. Bachelard (1938) soutient par exemple que « La science est produite par le refoulement du lyrisme mythique. » Toutefois, il reconnaît la difficulté de ce refoulement. Les physiciens peuvent s’enrichir de l’observation de ce qui influence leurs modes de représentation : tradition, raison, intuition, reconnaissance sociale, etc. Comme pour tout individu, les chercheurs ont souvent peu conscience des choix philosophiques et des modes préférentiels de représentation véhiculés par leur culture d’origine.

Les *themata* peuvent être porteurs de créativité, lorsqu'on les reconnaît. Le physicien W.I attaché au *thema* continu est un exemple du fait que les *themata* peuvent être porteurs de créativité. Cet attachement l'incite à développer des approches conceptuelles⁶⁶ pour penser le continu tout en dépassant la dualité onde/corpuscule.

Sur la question de l'internationalisation des sciences et de l'uniformisation de la connaissance, l'existence de *themata* culturels, montre qu'il existe encore des paramètres locaux à considérer. Sur la question de la quête identitaire des pays qui ont été colonisés, il nous semble que les styles thématiques locaux peuvent être des outils de compréhension, dans la mesure où ils s'inscrivent au cœur du lien entre tradition et modernité.

Perspectives

Il serait utile de réaliser le même genre d'étude sur les *themata* de physiciens issus d'autres pays, pour élargir la comparaison.

Concernant les éléments mis à jour sur la compréhension par les physiciens, de la théorie quantique, leurs attitudes notamment face aux différents paradoxes, ceci mériterait des études supplémentaires. Comme nous l'avons dit par ailleurs, nous souhaitons publier des éléments sur les aspects thématiques des différentes interprétations de la théorie quantique.

Il serait intéressant, pour compléter d'étudier quels modèles théoriques ou explicatifs sont mieux acceptés en Inde et en France, sur d'autres domaines que la mécanique quantique, comme par exemple la théorie des cordes ou bien la gravitation quantique à boucles. Une théorie peut avoir sa cohérence et être validée par de nombreuses expériences, cela ne peut suffire à son acceptation par tout le milieu physicien.

Au cours de cette thèse, nous nous sommes intéressés aux spécificités thématiques des cultures savantes de l'Inde. Nous avons pu dégager des traits qui nous sont apparus comme des spécificités indiennes anciennes dans le mode de connaissance (voir chapitre IV). Nous souhaitons poursuivre l'identification de ces spécificités et les mettre en comparaison avec celles de la science européenne, afin de mieux comprendre les spécificités des différents modes de connaissance scientifique. Nous envisageons de valoriser ce travail auprès d'intellectuels indiens, qui sont en demande sur cette question et qui nous ont sollicités.

Dans le cadre de cette période de thèse, nous avons eu l'opportunité d'étudier les « vedic sciences » (voir en annexe 8), que nous n'avons pas évoquées dans le corps de cette thèse, car

⁶⁶ Par exemple l'*horizon* du philosophe Ferdinand Gonseth, évoqué au chapitre VII p 247.

elles n'ont pas de lien direct avec la thèse défendue. Elles ont été utiles pour mieux cerner les liens entre sciences modernes et traditions, et nous envisageons de poursuivre quelques publications à leurs sujets. Nous souhaitons poursuivre les études sur l'effet du colonialisme de la pensée, à travers l'étude de la rencontre entre science et pensée traditionnelle, qu'elle soit savante ou mystique.

En rencontrant des physiciens indiens, nous avons observé certaines attitudes locales dans un environnement international, notamment concernant leur aptitude à la collaboration, au travail interdisciplinaire, à la place des femmes, à la confiance en soi. Nous avons pu noter le rôle des classes sociales dans l'évolution des carrières, et l'impact de la colonisation sur des attitudes actuelles dans le monde de la recherche. Ceci, nous ne l'avons pas explicité dans notre thèse, car ce n'était pas notre objet de recherche initial, et les éléments sont apparus au cours de l'enquête. Nous pourrions l'inclure dans les perspectives futures de recherche.

La question du post-colonialisme scientifique est à développer, au regard de la place de la science dans l'évolution des pays développés, anciennement colonisés. Nous nous sommes aperçus que cette question était un enjeu essentiel en Inde, et qu'il existait peu de recherches sur les scientifiques contemporains dans ces pays, et leur conception de leur place dans la science mondialisée qui porte des origines coloniales. Cette question est à mettre au cœur des questions identitaires que nous avons à peine effleurées dans la partie « discussion ». Dans son ouvrage *Alternative science*, Ashis Nandy (1995), a étudié la vie du mathématicien Ramanujan et du physicien J.C Bose pour illustrer le dilemme entre approche moderne de la science et approche traditionnelle. Une étude similaire pourrait être réalisée avec des physiciens contemporains de manière à explorer l'évolution de cette rencontre entre modernité et tradition. Enfin, une perspective de recherche concerne l'idée d'adaptation à l'ordre de la nature. Cette importance de la notion d'ordre dans la nature est apparue avec les entretiens. Cette question concerne le rôle de la science vis-à-vis de la maîtrise de la nature. Quand on interrogeait les physiciens indiens sur l'ordre dans la nature, certains évoquaient le besoin d' « adaptation à l'ordre de la nature ». Tandis qu'aucun physicien français ne l'a évoqué. La science est-elle compatible avec l'adaptation à l'ordre de la nature ?

En conclusion, nous pensons que les « styles thématiques locaux » constituent des outils utiles pour mieux comprendre comment la science s'uniformise tout en préservant des modes de pensées et de représentations du monde variées. Ce genre d'étude enrichit la science en interrogeant ses critères de vérité et ses valeurs. Au lieu de renforcer le sentiment d'incertitude

sur nos connaissances, le fait de mesurer la relativité humaine sur la représentation scientifique du réel permet au contraire d'appivoiser l'incertitude.

BIBLIOGRAPHIE

- Aggarwal, Varun. 2013. "Engineering Is a Man's Field: Changing a Stereotype with a Lesson from India." *Scientific American*.
- Alais, Pierre. 2011. *Yoga Sūtra de Patanjali*. Publish books.
- Alvares, Claude Alphonso. 1980. *Homo Faber: Technology and Culture in India, China, and the West from 1500 to the Present Day*. The Hague; Boston; Hingham, MA: M. Nijhoff Publishers.
- Anderson, P. W. 1972. "More Is Different." *Science, New Series* 177(4047):393–96.
- Angot, Michel. 2001. *L'Inde Classique*. Paris: Les belles lettres. Guide des civilisations.
- Arguillère, Stéphane. 2005. "Quelques Remarques Sur Le Rapport Entre Les Facultés Cognitives et La Libération Dans Le Bouddhisme et Dans La Doctrine de Schopenhauer." in *Schopenhauer et le bouddhisme*, edited by P. M.-J. (eds. . Teusch G. Paris.
- Bachelard, Gaston. 1938. *La Formation de L'esprit Scientifique*. Paris, France: Vrin.
- Bartell, Marvin. 2003. "Internationalization of Universities: A University Culture-Based Framework." *Higher Education* 45(1):43–70.
- Beals, Alan. .. 1976. "Strategies of Resort to Curers in South India." Pp. 184–200 in *Asian medical systems: a comparative study*, edited by E. Charles M. Leslie. Berkeley: Berkeley: University of California Press.
- Belzile, Jean-François: 2009. *Vaincre et Convaincre: Une Dialectique Indienne de La Certitude (IIIe-VIIe S.), Son Éthique et Sa Comparaison Avec La Dialectique Grecque*. Québec: Presses Universitaires de Laval.
- Berthelot, Jean-Marie. 1990. *L'intelligence Du Social*. Puf. Paris.
- Besnier, Jean-Marie and Michel Bitbol. 2005. "Les Valeurs de La Science." *Sciences et Avenir Hors Série*.
- Besnier, Jean-Michel. 2006. *La Croisée Des Sciences*. Paris: Seuil.
- Bitbol, Michel. 2010. *De l'intérieur du monde pour une philosophie et une science des relations*. Paris: Flammarion.

- Born, Max. 1926. "Sur La Mécanique Quantique Des Collisions." *Zeitschrift für Physik* 37:863–67.
- Born, Max and Albert Einstein. 1972. *Albert Einstein, Max Born, Correspondances 1916 - 1955*. Seuil. Paris.
- Boudon, Raymond. 1990. *L'art de Se Persuader*. Fayard. Paris.
- Boyer, Thomas. 2011. "La Pluralité Des Interprétations D'une Théorie Scientifique : Le Cas de La Mécanique Quantique. Thèse Pour L'obtention Du Grade de Docteur En Philosophie." Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- Bricmont, Jean. n.d. "La Non-Localité et Le Modèle de Bohm." *Accadémie des sciences morales et politiques*. Retrieved (<http://www.asmp.fr/travaux/gpw/philosc/rapport2/3-Bricmont.pdf>).
- Brives, Charlotte. 2010. "Des Levures et Des Hommes : Anthropologie Des Relations Entre Humains et Non Humains Au Sein D'un Laboratoire de Biologie." Bordeaux 2.
- Buckle, Henry Thomas. 1903. *History of Civilization in England Vol III*. London: Grant Richards.
- Byron, J. Good. 1994. *Medicine, Rationality and Experience An Anthropological Perspective*. New-York: Cambridge University Press.
- Cayouette-Remblière, Joanie. 2013. "Le Marquage Scolaire : Une Analyse 'statistique Ethnographique' des Trajectoires Des Enfants de Classes Populaires À l'École (Thèse de Doctorat)." Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.
- Chamak, Brigitte. 1999. "The Emergence of Cognitive Science in France: A Comparison with the USA." *Social Studies of Science* 29(5):643–84.
- Chenet, Conférence François. 2013. "Philosophie Comparée Inde/Europe." in *Conférence du 26 mars 2013, Journées franco-indiennes*. Lyon: Université Jean Moulin Lyon 3.
- Christie, John R. 1974. "The Origins and Development of the Scottish Scientific Community, 1680-1760." *History of Science* 12(2):122–41.
- Clanet, Claude. 1990. *L'interculturel. Introduction Aux Approches Interculturelles En Éducation et En Sciences Humaines*. Toulouse: Presses universitaires du Mirail.
- Clément, Fabrice and Laurence Kaufmann. 2011. *La Sociologie Cognitive*. Paris: Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme.
- Coenen-Huther, Jacques. 2002. "La sociologie des sciences entre positivisme et sociologisme." *Revue européenne des sciences sociales* (XL-124):219–31.
- Crombie, Alistair C. 1994. *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition: The History of Argument and Explanation Especially in the Mathematical and Biomedical Sciences*

- and Arts*. London: Duckworth.
- Cushing, James T. 1994. *Quantum Mechanics, Historical Contingency and the Copenhagen Hegemony*. The University of Chicago Press.
- Davie, G. E. 1961. *The Democratic Intellect: Scotland and Her Universities in the Nineteenth Century*. Edimburg: Edinburgh University Press.
- Delmas, Catherine, Christine Vandamme, and Donna Spalding Andréolle, eds. 2010. *Science and Empire in the Nineteenth Century: A Journey of Imperial Conquest and Scientific Progress*. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing.
- Demazière, D. and C. Dubar. 1997. *Analyser Les Entretiens Biographiques. L'exemple de Récits D'insertion*. Paris: Nathan.
- Department of Science and Technology. 2012. *Bibliometric Study of India's Scientific Publication Outputs during 2001-10. Evidence for Changing Trends*. New-Delhi.
- Descola, Philippe. 2005. *Par-delà nature et culture*. Gallimard. Paris.
- Devereux, Georges. 1980. *De L'angoisse À La Méthode*. Paris: Aubier.
- Direction générale de l'enseignement supérieur et de la recherche. 2014. *L'état de L'emploi Scientifique En France*. Paris: Direction générale de la recherche et de l'innovation.
- Dogan, Matteï and Dominique Pelassy. 1982. *Sociologie Politique Comparative : Problèmes et Perspectives*. Paris: Economica.
- Dravid, Raja Ram. 1972. *The Problem of Universals in Indian Philosophy*. Delhi: Motilal Banarsidass.
- Dubois, Michel. 2015. "Invisible Community and Peerless Science: Case Studies from Morocco and India." Pp. 1–54 in *Paradoxes, Mechanisms, Consequences : Essays in honor of Mohamed Cherkaoui*, edited by M. G. (ed). Oxford: Bardwell Press.
- Duhem, Pierre. 1914. *La Théorie Physique : Son Objet, Sa Structure*. Paris: Vrin.
- Dumézil, Georges. 1958. *L'Idéologie Tripartite Des Indo-Européens*. Latomus. Bruxelles, Berschem: Revue d'études latines.
- Dunn, John. 1985. "Identity, Modernity, and the Claim to Know Better." Pp. 139–53 in *Rethinking modern political theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Durand, George. 1968. *Les Structures Anthropologiques de L'imaginaire*. Dunod. Paris.
- Durkheim, Emile. 1899. *Selected Writings*. 1972: Cambridge university press.
- Egnor, Margareth Trawick. 1983. "Death and Nurturance in Indian Systems of Healing." *Social science and medicine* 17:935–45.
- Ereshefsky, Marc. 1995. "Review of 'The Disorder of Things: Metaphysical Foundations of the Disunity of Science', by John Dupré." *Canadian Journal of Philosophy* 25(1):143–58.

- Espagnat, Bernard d'. 1994. *Le réel voilé: analyse des concepts quantiques*. [Paris]: Fayard.
- Everett, Hugues. 1957. "'Relative State' Formulation of Quantum Mechanics." *Review of Modern Physics* 29:454–62.
- Férreol, Gilles et Jucquois, Guy. 2004. *Dictionnaire de L'altérité et Des Relations Interculturelles*. Paris: Armand Colin.
- Feuer, Lewis Samuel. 2005. *Einstein et Le Conflit Des Générations*. Bruxelles: Editions Complexe.
- Feyerabend, Paul. 1979. *Contre La Méthode, Esquisse D'une Théorie Anarchique de La Connaissance*. Paris: Seuil.
- Feynman, Richard P. 1970. *Feynman Lectures on Physics*. Boston, MA: Addison Wesley Longman.
- Filliozat, Jean. 1955. "Les Sciences Dans l'Inde Ancienne." in *Conférence faite au Palais de la Découverte*. Université des Paris.
- Filliozat, Jean. 1957. "La science indienne du XVe au XVIIIe siècle, René Taton." Pp. 737–41 in *Histoire générale des sciences, vol 2*, edited by R. Taton. Paris: Presses universitaires de France.
- Filliozat, Jean. 1966. *La Science Antique et Médiévale*. PUF. edited by R. Taton. Paris, France: Presses universitaires de France.
- Filliozat, Jean and Louis Renou. 1985. *L'Inde Classique, Manuel Des Etudes Indiennes. Tome I*. Paris: Maisonneuve.
- Funkenstein, Amos. 1995. *Théologie et Imagination Scientifique. Du Moyen-Âge Au XVIIIème Siècle*. PUF. Paris.
- Galison, Peter. 1996. "Introduction." in *The Disunity of Science : Boundaries, Context, Power*, edited by P. Galison and D. J. Stump. Stanford: Stanford University Press.
- Gamby-Mas, Dimitri, Lila Maria Spadoni-Lemes, and Jennifer Mariot. 2012. "Idéologie et représentations sociales : étude expérimentale du rôle des thémata." *Bulletin de psychologie* Numéro 520(4):321–35. Retrieved (http://www.cairn.info/article.php?ID_ARTICLE=BUPSY_520_0321).
- Ganeri, Jonardon. 2013. "Well-Ordered Science and Indian Epistemic Cultures: Toward a Polycentered History of Science." *Isis* 104(2):348–59. Retrieved (<http://www.jstor.org/stable/info/10.1086/670953>).
- Gauthier, Alain. 1998. *Du Visible Au Visuel : Anthropologie Du Regard*. Paris: PUF.
- Gayon, Jean. 1996. "De La Catégorie de Style En Histoire Des Sciences." *Alliage* 26:13–25.
- Ghirardi, G. C., A. Rimini, and T. Weber. 1986. "Unified Dynamics for Microscopic and

- Macroscopic Systems.” *Physical Review* 34(470).
- Glaser, B. and A. Strauss. 1967. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Chicago: Aldine de Gruyter.
- Godbole, Rohini M. and Sumathi Rao Neelima Gupte, Pratibha Jolly, Shobhana Narasimhan. 2005. “Women in Physics in India, 2005.” *AIP Conference Proceedings* 795:129–30.
- Gonseth, Ferdinan. 1948. “Remarque Sur L’idée de Complémentarité.” *Dialectica* 2(3/4):413–20.
- Goswami, Amit. 2014. *Quantum Creativity*. Hay House.
- Guenzi, Catherina. 2013. *Le Discours Du Destin. La Pratique de L’astrologie À Bénarès*. Paris: CNRS éditions.
- Guillaume, Thomas. 2000. *L’économie Française À L’aube Du XXIe Siècle*. Paris: Economica.
- Guioux et Lasserre, Lyon 2. n.d. “Corps et Yoga.”
- Guru, Gopal and Sundar Sarukkai. 2012. *The Cracked Mirror, An Indian Debate on Experience and Theory*. New Delhi: Oxford University press.
- Hacking, Ian. 2003. “Philosophie et Histoire Des Concepts Scientifiques.” in *Des styles de raisonnement scientifique : cours au collège de France*. Paris: College de France.
- Hacking, Ian. 2010. “Scientific Reason, Lectures given in Taiwan, 21 April.” in *Methods, objects, and truth*. Taiwan.
- Hanafi, Sari. 2011. “University Systems in the Arab East: Publish Globally and Perish Locally vs Publish Locally and Perish Globally.” *Current Sociology* 59:291–309.
- Harvey, Bill. 1981. “Plausibility and the Evaluation of Knowledge : A Case-Study of Quantum Mechanics Experimental.” *Social studie* 11(1):95–130.
- Harwood, Jonathan. 1993. *Styles of Scientific Thought: The German Genetics Community, 1900-1933*. Chicago: University Of Chicago Press.
- Heilbron, John. 1987. *The Dilemmas of An Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science*. University of California Press.
- Heisenberg, Werner. 1971. *Physics and Beyond: Encounters and Conversations*. New-York: Harper & Row.
- Helmreich, S. 1998. “Recombination, Rationality, Reductionism and Romantic Reactions: Culture, Computers, and the Genetic Algorithm.” *Social Studies of Science* 28(1):39–71.
- Holton, Gerald. 1962. “Scientific Research and Scholarship: Notes toward the Design of Proper Scales.” *Daedalus* 91:362–99.
- Holton, Gerald. 1975. “On the Role of Themata in Scientific Thought.” *Science, New Series*

- 418(188):328–34.
- Holton, Gerald. 1996. “The Role of Themata in Science.” *Foundations of Physics* 26(4):453–65.
- Holton, Gerald. 2005. *Victory and Vexation in Science: Einstein, Bohr, Heisenberg and Others*. Cambridge: Harvard University Press.
- Holton, Gerald James. 1981. *L’Imagination Scientifique*. Paris: Gallimard.
- Home, Dipankar. 1997. *Conceptual Foundations of Quantum Physics: An Overview from Modern Perspectives*. Plenum pre. New-York.
- Horton, Robin. 1967. “African Traditional Thought and Western Science.” *Africa: Journal of the International African Institute*, 37(2):155–87.
- Houdart, Sophie. 2008. *La Cour Des Miracles. Ethnologie D’un Laboratoire Japonais*. Paris, France: CNRS editions.
- Hulin, Michel. 2001. “L’unité de La Pensée Indienne . Entretien Avec Michel Hulin.” *Sciences Humaines* 118:26–27.
- Hulin, Michel. 2009. “Vérité En Deçà de l’Himalaya....” *Philosophie magazine* 32:24.
- Irvine, John and Ben R. Martin. 2015. “Basic Research in the East and West : A Comparison of the Scientific Performance of High-Energy Accelerators Physics.” 15(2):293–341.
- Jammer, Max. 2008. *Concepts D’espace Une Histoire Des Théories de L’espace En Physique*. Paris: Vrin.
- Jodelet, Denise and Collectif. 2003. *Les Représentations Sociales*. edited by D. Jodelet and G. Ballandier. Paris: PUF.
- Jonas, Hans. 1979. *Le Principe Responsabilité*. Paris, France: Flammarion.
- Jullien, François. 2009. *Les transformations silencieuses*. Paris: Grasset.
- Kaiser, David, Kenji Ito, and Karl Hall. 2004. “Spreading the Tools of Theory: Feynman Diagrams in the USA, Japan, and the Soviet Union.” *Social Studies of Science* 34:879–922.
- Kak. 2004. *L’arbre À Souhails*. Paris: Banyan.
- Kakar, Sudhir. 1985. *Moksha, Le Monde Intérieur, Enfance et Société En Inde*. Paris: Les Belles lettres.
- Kakar, Sudhir and Katharina Kakar. 2007. *Les Indiens: portrait d’un peuple*. Paris, France: Éd. du Seuil. Retrieved (<http://www.sudoc.abes.fr/DB=2.1/SRCH?IKT=12&TRM=114267588>).
- Kameshwar C. Wali. 1998. *Chandrasekhar: Une Histoire de L’astrophysique*. Paris: (Dept of Science and Technology India, 2012).

- Kapila, Shruti. 2010. "The Enchantment of Science in India." *Isis; an international review devoted to the history of science and its cultural influences* 101(1):120–32.
- Keller, Agathe. 2006. "Textes Écrits, Textes Dits Dans La Tradition Mathématique de l'Inde Médiévale." *Les Génies de la science* 29.
- Khare, R. .. 1993. "The Seen and the Unseen: Hindu Distinctions, Experiences, and Cultural Reasoning." *Contributions to Indian Sociology* 27(2).
- Khosrokhavar, Farhad, Mohammad-Amin Ghaneirad, and Ghasem Toloo. 2007. "Institutional Problems of the Emerging Scientific Community in Iran." *Science Technology & Society* 12:171–200.
- Klein, Etienne. 1995. *Le Temps*. Paris: Flammarion.
- Koyré, Alexandre. 1973. *Du Monde Clos À L'univers Infini*. Paris: Gallimard.
- Kranakis, Eda. 1989. "Social Determinants of Engineering Practice : A Comparative View of France and America in the Nineteenth Century." 19(1):5–70.
- Krishna, V. V. and A. Jain. 1990. "Country Report: Scientific Research, Science Policy and Social Studies of Science and Technology in India." in *Paper presented at the First Workshop on the Emergence of Scientific Communities in the Developing Countries*. Paris: ORSTOM.
- Krishna, V. V., Swapan Kumar Patra, and Sujit Bhattacharya. 2012. "Internationalisation of R&D and Global Nature of Innovation: Emerging Trends in India." *Science Technology & Society* 17:165–99.
- Krishna, Venni V. 1996. "La Contestation Techno-Scientifique En Inde." Pp. 284–300 in *Les sciences hors d'Occident au XXème siècle. Volume 6. Les sciences au Sud. Etat des Lieux*, edited by R. Waast. Paris: ORSTOM.
- Krogh, Lars B. and Poul Thomsen. 2005. "Studying Students' Attitudes towards Science from a Cultural Perspective but with a Quantitative Methodology: Border Crossing into the Physics Classroom." *international journal of science education* 27(3):281–302.
- Kuhn, Thomas. .. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, Etats-Unis: University Of Chicago Press.
- Ladmiral, Jean-René. 1994. *Traduire : Théorèmes Pour La Traduction*. Paris: Gallimard.
- Laloe, Franck. 2011. *Comprenons Nous Vraiment La Mécanique Quantique ?* Paris: EDP Sciences.
- Lambotte-Saligari, Alexandrine. 2010. "Intervention Faite À Créteil Lors de La Journée Femmes et Développement : Ici et Là-Bas" Le 13 Octobre 2010 À Créteil."
- Laplace, Pierre Simon. 1840. *Essai Philosophique Sur Les Probabilités*. Paris: Bachelier.

- Latour, Bruno. 1988. *The Pasteurization of France*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Latour, Bruno. 2010. *Cogitamus : Six Lettres Sur Les Humanités Scientifiques*. Paris: Editions La Découverte.
- Latour, Bruno and Steve Woolgar. 1986. *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton: Princeton University Press.
- Law, John. 1987. "On the Social Explanation of Technical Change: The Case of Portuguese Maritime Expansion." *Technology and Culture* 28:227–52.
- Lemaine, Gérard. 1979. "Lewis S. Feuer, Einstein et Le Conflit Des Générations." *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations* 34(6):1277–81.
- Lemercier, Claire et Ollivier, Carine. 2011. "Décirer et Compter." , *Terrains & Travaux* 19.
- Lemieux, Cyril. 1995. "Recension. I. Stengers, L'invention Des Sciences Modernes." *Politix* 8(29):222–26.
- Lenclud, Gérard. 1996. "Le Grand Partage Ou La Tentation Ethnologique." Pp. 9–37 in *Vers une ethnologie du présent*, edited by et al. . Althabe, Gérard. Paris: Éditions de la Maison des sciences de l'homme.
- Lévi-Strauss, Claude. 1959. *Race et Histoire*. Paris, France: Plon.
- Lévi-Strauss, Claude. 1962. *La Pensée Sauvage*. Paris: Plon.
- Lévy-Leblond, Jean-Marc. 2003. "La Matière." Pp. 619–24 in *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, edited by D. Lecourt. Paris: Quadrige/Puf.
- Lévy-Leblond, Jean-Marc. 2004. "La Science Est-Elle Universelle?" *Alliage* 55-56(Connaissance réciproque et dialogue transculturel):34–45.
- London, Fritz and Edmond Bauer. 1939. *La Théorie de L'observation En Mécanique Quantique*. Paris: Hermann and Cie.
- London, Scott. 2005. "In the Footsteps of Gandhi: An Interview with Vandana Shiva." *Blog du journaliste Scott London*. Retrieved (<http://www.scottlondon.com/interviews/shiva.html>).
- Longair, Malcolm. 2013. *Quantum Concepts in Physics: An Alternative Approach to the Understanding of Quantum Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lyssenko, Viktoria. 1996. "La Doctrine Des Atomes Chez Kanada et Prashastapada." *Journal Asiatique* Vol. 248(1):p. 137–58.
- Lyssenko, Viktoria. 2004. "The Human Body Composition Statics and Dynamics : Āyurveda and the Philosophical Schools of Vaiśeṣika and Sāṃkhya." *Journal of Indian Philosophy* 32:31–56.
- MacRobie, G. 1981. *Small Is Possible*. New York: Harper & Row.

- Marriott, McKim. 1990. *India Through Hindu Categories*. New Delhi, Newbury, London: Sage Publications.
- Maslen, Geoff. 2013. "Turning out Millions of Doctorates." *University World News*, April 3, 266. Retrieved (<http://www.universityworldnews.com/article.php?story=20130403121244660>).
- Masson-Oursel, Paul. 1925. "L'atomisme Indien." *Revue Philosophique de la France et de l'Étranger*, 99:342–68.
- Masson-Oursel, Paul. 1949. "L'espace et Le Temps Dans l'Inde Approches de l'Inde." *Cahiers du Sud Tradition* (Dir. Jacques Masui).
- Maudlin, Tim. 1995. "Three Measurement Problems." *Topoi* 14(1):7–15.
- Merchant, Carolyn. 1990. *The Death of Nature*. Harper One.
- Merton, Robert King. 1942. "The Normative Structure of Science." *Journal of Legal and Political Sociology* 1:115–26.
- Merz, John. 1965. *A History of European Thought in the Nineteenth Century, Vol I*. New York: Dover.
- Modi, Narendra. 2015. "APJ Abdul Kalam Saw India as a Knowledge Superpower." *Reuters, Indiatodayin*.
- Moloney, Gail, Rob Hall, and Iain Walker. 2005. "Social Representations and Themata: The Construction and Functioning of Social Knowledge about Donation and Transplantation." *The British journal of social psychology / the British Psychological Society* 44(Pt 3):415–41. Retrieved February 14, 2014 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16238847>).
- Morin, Edgar. 2007. "Complexité Restreinte, Complexité Générale." in *Intelligence de la complexité, actes du Colloque de Cerisy*, edited by J.-L. Le Moigne.
- Moscovici, S. and G. Vignaux. 1994. "Le Concept de Thémata." in *Structures et transformations des représentations sociales*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Nairz, O., M. Arndt, and A. Zeilinger. 2003. "Quantum Interference Experiments with Large Molecules." *American Journal of Physics*, 71:319–25.
- Nandy, Ashis. 1995. *Alternative Sciences: Creativity and Authenticity in Two Indian Scientists*. Oxford: Oxford University press.
- Nandy, Ashis. 2007. *L'ennemi intime: perte de soi et retour à soi sous le colonialisme*. Paris: Fayard.
- Narayan, Roopa Hulikal. 2007. *The Theory Of Matter in Indian Physics*.
- Needham, Joseph. 1954. *Science and Civilisation in China*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Nehru, Jawaharlal. 2002. *La Découverte de l'Inde*. Arles: Editions Philippe Picquier.
- NICOLESCU, B. 1988. "L'imaginaire sans images : symboles et themata dans la physique contemporaine in L'imaginaire dans les Sciences et les Arts." *Cahiers de l'Imaginaire* (1):25–36.
- Noël, Léon. 1905. "Le Principe Du Déterminisme (Suite)." *Revue néo-scholastique* 12(46):161–77. Retrieved (http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/phlou_0776-5541_1905_num_12_46_1879).
- Norsen, Travis and Sarah Nelson. 2013. "Yet Another Snapshot of Foundational Attitudes Toward Quantum Mechanics." *arXiv preprint arXiv:1306.4646* 1–11. Retrieved October 16, 2013 (<http://arxiv.org/abs/1306.4646>).
- Nye, Mary Jo. 1986. *Science in the Provinces: Scientific Communities and Provincial Leadership in France, 1860-1930*. Berkeley: University of California Press.
- Paty, Michel. 1986. "La Non Séparabilité Locale et L'objet de La Théorie Physique." *Fundamenta Scientiae* 7(1):47–87.
- Paty, Michel. 1999. "L'Universalité de La Science , Une Notion Philosophique À L'Épreuve de L'Histoire." 2–4.
- Paty, Michel. 2000. "Interprétations et Significations En Physique Quantique." *Revue internationale de philosophie* 2(212):199–142.
- Penrose, Roger. 1994. *Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness*. Oxford: Oxford University Press.
- Pestre, Dominique. 1984. *Physique et physiciens en France, 1918-1940*. Paris: Editions des archives contemporaines.
- Pestre, Dominique. 2003. *Science, Argent et Politique, Un Essai D'interprétation*. Paris: Inra.
- Phelan, Patricia, Ann Davidson, and Hanh Thanh. 1991. "Students' Multiple Worlds: Negotiating the Boundaries of Family, Peer, and School Cultures." *Journal of the American Anthropological Association* 22(3):224–50.
- Pickering, Andrew. 1986. *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*. New editio. University of Chicago Press.
- Pirsig, Robert M. 2013. *Traité Du Zen et de L'entretien Des Motocyclettes*. Point.
- Plokker, Kim. 2009. *Mathematics in India*. Princeton: Princeton University Press.
- Poggi, Colette. 2012. "ÂKÂSHA Irradiating Space Cosmic Space, Microcosmic Space, Space of Consciousness." in *Présentation au congrès du SARI 2012*. Paris.
- Pollock, Sheldon. 1985. "The Theory of Practice and the Practice of Theory in Indian Intellectual History." *Journal of the American Oriental Society* 105(3):499.

- Pordié, Laurent. 2012a. "Branding Indian Aromatherapy. Differentiation through Transnational Networks." Pp. 93–103 in , in *Volker Scheid and Hugh MacPherson (eds.), Integrating East Asian Medicine into Contemporary Healthcare*. London.
- Pordié, Laurent. 2012b. "Sortir de L'impasse Épistémologique. Nouveaux Médicaments et Savoirs Traditionnels," *Sciences Sociales et Santé* 30(2): 93-.
- Prasad, Amit. 2005. "Scientific Culture in the 'Other' Theater of 'Modern Science': An Analysis of the Culture of Magnetic Resonance Imaging Research in India." *Social Studies of Science* 35(3):463–89.
- Prasad, Gaya. 1987. "Method of Science Used in Past India and Its Relevance to Present Day Context.pdf." *Indian Journal of history of science* 22(2):99–102.
- Priyadarshini, Subhra. 2011. "Being a Scientist in India." *Of Schemes and Memes Blog*. Retrieved (<http://blogs.nature.com/ofschemasandmemes/2011/08/16/being-a-scientist-in-india>).
- Przeworski, A. and H. Teune. 1970. *The Logic of Comparative Social Inquiry*. New York: John Wiley & Sons.
- Quet, Mathieu. 2012. "Critiquer Les Sciences et La Médecine Dans Un Pays Non Hégémonique. People's Science et People's Health En Inde." *Revue d'anthropologie des connaissances* 6(3):25–47.
- Quidu, Matthieu. 2009. "Les Thémata Dans La Recherche En STAPS : Motivations et Modalités D'intervention." *Staps* 84(2):7–25.
- Quine, W. V. and J. S. Ullian. 1978. *The Web of Belief*. McGraw-Hil.
- Rabourdin, Sabine. 2012. *Ākāśa Dans Le Vaiśeṣika Regard Sur Une Théorie Substancielle de L'espace Dans Une École de Pensée Logique de l'Inde. Mémoire de Master 2 (Recherche) En Histoire, Philosophie et Didactique Des Sciences*. Lyon.
- Raina, Dhruv. 2003. *Images and Contexts. Critical Essay on the Historiography of Science in India*. Oxford: Oxford University Press.
- Raj, Kapil. 1988. "Images of Knowledge, Social Organization, and Attitudes to Research in an Indian Physics Department." *Science in Context* 2(02):317–39.
- Raj, Kapil. 2007. *Relocating Modern Science : Circulation and the Construction of Knowledge in South Asia and Europe, 1650-1900*. Basingstoke & New York: Palgrave Macmillan.
- Ramanujan, a. K. 1989. "Is There an Indian Way of Thinking? An Informal Essay." *Contributions to Indian Sociology* 23(1):41–58.
- Rashed, Roshdi. 1984. *Entre Arithmétique et Algèbre. Recherches Sur L'histoire Des Mathématiques Arabes*. Paris, France: Les Belles Lettres, Paris.

- Raza, Gauhar and Surjit Singh. 2012. "Science Communication in India at Cross Roads : Yet Again." in *Keynote adress - International COnference on Science Communication*. Nancy: University of Lorraine.
- Rosen, J. 2008. *Symmetry Rules: How Science and Nature Are Founded on Symmetry*. Berlin.
- Rouleau-Berger, Laurence. 2011. *Désoccidentaliser La Sociologie, l'Europe Au Miroir de La Chine*. Paris: Editions de l'Aube.
- Rouquette, Sébastien. 2011. "Identités Décomposées Identités Recomposées : Panorama Des Courants Théoriques de L'étude Des Représentations Des Identités Culturelles et Interculturelles." Pp. 187–97 in "*L'identité plurielle. Images de soi, regards sur les autres.*" Presses Universitaires Blaise Pascal.
- Rouse, Joseph. 1993. "What Are Cultural Studies of Scientific Knowledge?" *Configurations* 1(1).
- Rovelli, Carlo. 2014. *Et Si Le Temps N'existait Pas ?* Paris: Dunod.
- Roy, Arpita. 2011. "Dualism and Non-Dualism : Elementary Forms of Physics at CERN." University of California, Berkeley.
- Salomon, Jean-jacques and Francisco R. Sagasti. 1994. *The Uncertain Quest : Science , Technology , and Development*. United Nations University.
- Sarukkai, Sundar. 2005. *Indian Philosophy and Philosophy of Science*. Centre for Studies in Civilisations.
- Saunders, S., J. Barrett, A. Kent, and D. Wallace. 2010. *Many Worlds ? Everett, Quantum Theory and Reality*. Oxford: Oxford University Press.
- Schaffer, Simon and Steven Shapin. 1985. *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Schlosshauer, Maximilian, Johannes Kofler, and Anton Zeilinger. 2013. "A Snapshot of Foundational Attitudes toward Quantum Mechanics." *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 44(3):222–30.
- Schnetzler, Jean-Pierre. 2008. *Le Bouddhisme Expliqué Aux Occidentaux*. Paris: Dervy.
- Schrödinger, Erwin and Michel Bitbol. 1992. *Physique quantique et représentation du monde*. [Paris]: Seuil.
- Schutz, A. 1962. "Collected Papers I. The Problem of Social Reality" edited by H. L. van Breda and M. A. Natanson. *Phenomenologica*.
- Sen, Amartya. 2006. *The argumentative Indian: writings on Indian history, culture, and identity*. New York, Etats-Unis: Picador/Farrar, Straus and Giroux.
- Serres, Michel dir. 1993. *Eléments D'histoire Des Sciences*. Bordas. Paris.

- Sharma, A. K. 2009. “Les Évolutions de L’enseignement Des Sciences. L’expérience Indienne.” *revue internationale d’éducation de Sèvres* 51(3).
- Shayegan, Daryush. 2003. *Le regard mutilé: schizophrénie culturelle*. La Tour-d’Aigues, France: Éd. de l’Aube.
- Shiva, Vandana. 1988. *Staying Alive: Women, Ecology and Development*. London: Zed Books.
- Shiva, Vandana and J. Bandyopadhyay. 1980. “The Large and Fragile Community of Scientists in India.” *Minerva* 18(4):575–94.
- Siburn, Lilian. 1989. *Instant et Cause, Le Discontinu Dans La Pensée Philosophique de l’Inde*. De Boccard. Paris.
- Sommer, Christoph. 2013. “Another Survey of Foundational Attitudes Towards Quantum Mechanics.”
- Stanley Jeyaraja Tambiah. 1984. *Magic, Science, Religion and the Scoope of Rationality*. Cambridge university press.
- Stengers, Isabelle. 1987. *D’ une Science À L autre: Des Concepts Nomades*. Paris: Le Seuil.
- Stengers, Isabelle. 1993. *L’invention Des Sciences Modernes*. Paris: La Découverte.
- Tardan-Masquelier, Ysé. 2007. *Un Milliard D’hindous, Histoire, Croyances, Mutations*. Paris: Albin Michel.
- Tegmark, Max. 1997. “THE INTERPRETATION OF QUANTUM MECHANICS :”
- Thévenot, Laurent. 2006. *L’action Au Pluriel. Sociologie Des Régimes D’engagement*. Paris: Editions La Découverte.
- Toren, Nina. 1983. “Attitudes Towards Work: A Comparison of Soviet and American Immigrant Scientists in Israel.” *Social Studies of Science* 13:229–53.
- Touraine, Alain. 2007. *Penser Autrement*. Paris: Fayard.
- Traweek, Sharon. 1992. *Beamtimes and Lifetimes: The World of High Energy Physicists*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- United Nations Education, Scientific and Cultural Organization. 2007. *Science , Technology and Gender, An Internal Report*. Paris: Unesco Publishing.
- Varma, Pavan K. 2005. *Le Défi Indien, Pourquoi Le XXIème Sera Le Siècle de l’Inde*. Arles: Actes Sud.
- Vernant, Jean-Pierre. 1965. *Mythe et Pensée Chez Les Grecs*. Paris, France: Maspéro.
- Vessuri, Hebbe. 1994. “The Institutionalization Process.” Pp. 320–65 in *The uncertain quest : science, technology and development*. United Nations University.
- Vigour, Cécile. 2005. *La Comparaison Dans Les Sciences Sociales*. Paris: Editions La Découverte.

Weber, Max. 2003. *Hindouisme et Bouddhisme*. Flammarion.

Weinberg, Steven. 1995. "REDUCTIONISM REDUX." *The New York Review of Books* 39–45.

Zimmer, H. 1978. *Les Philosophies de l'Inde*. Paris: Payot.

Zimmermann, Francis. 1982. *La Jungle et Le Fumet Des Viandes: Un Thème Écologique Dans La Médecine Hindoue / Francis Zimmermann*. Paris? Gallimard, Le Seuil. Retrieved (<http://catalog.hathitrust.org/Record/006201853>).

Zwirn, Hervé. 2000. *Les Limites de La Connaissance*,. Paris: Editions Odile Jacob.



N°d'ordre NNT : xx

ANNEXES

à la THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

opérée au sein de

l'Université Claude Bernard Lyon 1

Ecole Doctorale EPIC n°485

Spécialité de doctorat :

Epistémologie, histoire des sciences et des techniques

xxSoutenue publiquement le 21/06/2016, par :

RABOURDIN Sabine

Les styles thématiques locaux : l'interprétation du
réel par les physiciens selon leur culture.

Une étude comparative des physiciens indiens et français autour de
l'interprétation de la mécanique quantique.

Table des Annexes

| | |
|--|-----|
| Annexe 1. Deux entretiens retranscrits en guise d'exemple | 3 |
| Annexe 2. Table des réponses condensées, physicien par physicien | 14 |
| Annexe 3. Table des themata | 16 |
| Annexe 4. Déroulé des entretiens, hésitations de recherche, élaboration des questions..... | 18 |
| Annexe 5. Interpretations of quantum physics: its history and concepts through the use of Themata..... | 22 |
| Annexe 6. Quelques éléments de physique quantique | 39 |
| Annexe 7. Les différentes interprétations de la théorie et le rôle de l'observateur | 46 |
| Annexe 8. Eléments concernant les « physiques védiques » | 56 |
| Annexe 9. La science et ses valeurs : enjeu d'émancipation dans l'Inde moderne..... | 84 |
| Annexe 10. Point de vue des physiciens rencontrés sur les problèmes de la recherche | 94 |
| Annexe 11. Observations à propos de la jeune génération de physiciens indiens | 107 |
| Annexe 12. Perception de la science et de la tradition par les physiciens interrogés | 113 |
| Annexe 13. La déraisonnable efficacité des mathématiques : éléments de réflexions et comparaison | 140 |
| Annexe 14. Disciplines et interdisciplinarité : le ressenti des physiciens indiens | 147 |
| Annexe 15. Face à face avec la symétrie : une comparaison entre physiciens indiens et français. | 157 |
| Annexe 16. La pensée indienne ancienne, analogique ? Eléments de réflexion sur la pensée analogique selon P. Descola, appliquée au cas de l'Inde ancienne..... | 177 |
| Table des illustrations des annexes | 193 |

Annexe 1. Deux entretiens retranscrits en guise d'exemple

Ces deux entretiens, le premier avec F.I, physicien français, et le second, avec L.H, physicien indien, sont retranscrits à partir des premiers échanges, c'est-à-dire que n'y figure pas la présentation du début de l'entretien dans lequel je me présente, ainsi que ma recherche.

Entretien avec F.I, physicien français

Au CEA de Saclay, juillet 2014. Dans son bureau.

- *Dans quelle discipline de la physique travaillez vous ?*

Je suis expérimentateur en physique des particules.

- *Pouvez vous me parler de votre parcours de physicien ?*

Je pense que j'ai le même parcours que tous les gens qui sont expérimentateurs. Je voulais être théoricien à l'origine. Mais j'ai l'impression que le milieu de la théorie est ultra-compétitif. Pour être théoricien, il faut, soit être très brillant, ce qui n'était pas vraiment mon cas, soit une petite main et ne sortir que du calcul, ce qui n'est pas vraiment de la physique. J'ai pensé que je pouvais faire des expériences et regarder la théorie de très près. On est en contact avec des théoriciens quand même. A posteriori, je n'ai pas de regret, je vois qu'il y a beaucoup de gens qui font de la théorie qui font trop de calculs et ce n'est pas ce qui m'intéressait. J'aime bien *manipuler*. C'est quelque chose que je n'avais pas vraiment fait pendant mes études. En *prépa*, école d'ingénieur, au final, on manipule très peu. On fait aussi de la physique quand on fait des manipulations, ce n'est pas de la physique fondamentale, mais on s'interroge pas mal.

- *Est-ce que les disciplines scientifiques sont trop cloisonnées ?*

Elles sont cloisonnées. Je ne sais pas si le cloisonnement vient de la spécialisation. Car les gens qui font avancer les idées couvrent toutes les disciplines. Ceux qui font avancer vont au-delà de ce cloisonnement, franchissent les murs. Par exemple, tous les théoriciens de XXème siècle, et encore aujourd'hui, par exemple des gens qui font de la théorie des champs. Dans ma discipline, c'est très difficile de passer les ponts. Au niveau des outils, comme les statistiques, on a plus de facilités.

- *Que changeriez-vous dans la recherche ?*

Dans mon domaine, en physique expérimentale des particules, on construit des manipulations qui sont gigantesques et qui coûtent extrêmement cher. Quand on demande de l'argent, on se retrouve à beaucoup sur des manipulations qu'on pourrait exploiter à beaucoup moins. Je trouve que l'on est en train de se transformer en administration. C'est vrai au niveau de ces grosses manipulations comme le LHC. Mais c'est vrai aussi au niveau de la recherche en France. Une subvention est redistribuée par cinq organismes de financement de la recherche. Je dois aller demander à ces 5 organismes une subvention, alors qu'avant il me fallait un dossier, maintenant j'ai 5 dossiers à faire. Et il y a 5 personnes qui doivent étudier le dossier au lieu d'un seul. Au lieu de demander une bourse de thèse, on demande 1/5 de bourse de thèse là, un autre là, etc. On perd un temps fou à faire des dossiers. Avant, quand j'ai commencé, ce qui était valorisé c'était d'être un bon physicien, maintenant c'est d'être un bon chef, qui organise des réunions et récupère des financements.

- *Pourquoi avez-vous choisi de devenir scientifique ?*

Bon, le truc c'est que j'étais bon en maths. J'ai développé un goût. Moi, j'ai été élevé dans un carcan religieux, j'ai été au catéchisme etc. et donc, pour moi, c'était la réponse à « qu'est-ce que l'univers ? ». Ca c'est quand j'étais tout petit. Et puis, petit à petit, j'ai remis en cause tout cela. C'est une des raisons pour lesquelles je suis allée vers les sciences. Parce qu'il y a des gens, à la fin du collège, qui ne croyaient pas en Dieu, et je me suis demandé « pourquoi ils n'y croient pas ? », je prenais cela comme une évidence. Et puis, je me suis interrogé, je me suis dit, je comprends que l'on puisse émettre des doutes. Et puis les doutes deviennent... C'est le même genre de démarche qui petit à petit te fait interroger. Tu as une certitude sur « d'où vient l'être humain ? », et puis tu perds ta certitude et puis tu en cherches une autre. T'es bon en maths, ca te facilite les sciences et puis, j'ai été piqué au vif sur mes certitudes. Maintenant, ma seule certitude c'est que je ne pourrai plus avoir de certitudes, je crois. Petit à petit, je me suis dit que le modèle de la physique c'est beau. Et c'est vrai que c'est beau, conceptuellement il y a des choses qu'on développe qui sont magnifiques. Et petit à petit tu te rends compte que, finalement plusieurs théories peuvent décrire la même chose, avec des outils vraiment différents. Et donc tu te rends compte que la seule chose qui est un peu vraie c'est ce que l'on mesure. Par exemple, la relativité générale. Un truc qui m'a beaucoup marqué. Parce que c'est très joli. C'est joli parce que c'est une théorie des champs qui découle du Principe de moindre action. On peut imaginer des théories radicalement différentes, qui prédisent la même chose. Les différences se font à des énergies qu'on n'atteindra jamais. Pourquoi le principe de moindre action fonctionne-t-il ?

- *Avez-vous des scientifiques dans votre entourage familial ?*

Non

- *Quel scientifique vous a inspiré ?*

Je n'ai pas de modèles, mais il y a une période, le début du XXème siècle, que j'admire avec des gens comme Einstein, Fermi, Dirac, Bohr, Pauli. Ils franchissaient les disciplines.

- *Quel est le critère le plus important de scientificité, quelque chose qui fait que pour vous c'est bien de la science par rapport à quelque chose qui n'en serait pas ? Parmi par exemple l'objectivité (ne dépend pas des observateurs), prédictibilité (peut être vérifié par l'expérience), le déterminisme (même causes engendrent les mêmes effets), la cohérence logique (des modèles et théories) ?*

Il y a des choses dans tout cela qui pour moi sont reliés. L'objectivité, non, car ce qui est objectif à un moment le devient de moins en moins, et un être humain n'est pas objectif, il essaie de l'être. Prédictibilité, oui, c'est relié à l'expérience. Le déterminisme pour moi c'est ce qui rend les choses prédictives, par des outils mathématiques. Et j'ai du mal à imaginer quelque chose qui soit déterministe, prédictible et vérifiable mais qui ne soit pas logique. Il y a forcément une logique derrière. C'est ce qui est intéressant, pourquoi c'est logique ?

- *Quel est l'aspect le plus important pour une théorie ?*

La compatibilité avec les faits expérimentaux, c'est un pré-requis, après c'est juste des maths. Pour moi, la symétrie, c'est ce qui fait partie de la beauté de la chose. C'est important la symétrie, peut-être qu'on en fait trop avec ca, mais les théories actuelles

sont ultra symétriques : translation dans le temps, dans l'espace, etc. Et les symétries internes pour expliquer les spins, etc.

- *Devons nous consacrer des efforts et des moyens à rechercher une théorie unifiée ?*

Oui, c'est le but. Pour moi, tout ce que l'on fait est même orienté vers ça. Je pense qu'elle existe parce que, toute l'histoire de la physique nous montre qu'on simplifie de plus en plus. A la fois la science devient de plus en plus complexe et à la fois les principes fondamentaux sont de plus en plus réduits. De la table de Mendeleïev, on est passé à deux quarks et un électron, et ça suffit pour tout expliquer.

- *Quand vous soumettez un modèle au test de l'expérience : changez-vous une variable à la fois ou bien un groupe de variables simultanément ?*

Une seule à la fois. Ou alors c'est compliqué à interpréter. A part les thésards, tu bidouilles, quand tu commences.

- *A votre avis, existe-t-il des blocs élémentaires de la matière et si oui, quels sont-ils ?
Votre réponse, pas celle du physicien des particules.*

Les blocs élémentaires sont les quarks, les leptons, etc. Il y a plein de théories jolies où l'on peut faire que les blocs élémentaires soient juste des modifications de l'espace-temps par exemple. Ca c'est joli. En fait, à la fin, tout pourrait être géométrique, quand c'est géométrique, c'est joli. Élémentaire je ne sais plus ce que ça veut dire, nous on dit qu'on a des particules de taille infiniment petites, ponctuelles, je ne sais même plus ce que ça veut dire, ça devient conceptuel. Les particules sont localisées, mais elles n'ont pas d'extension. Dans les sciences, à chaque fois, il y a un moment où c'est tellement au-delà de l'échelle à laquelle on a accès qu'on voit ça comme élémentaire.

- *La microphysique (sous le femtomètre, sous le noyau de l'atome à $10^{-15}m$) se réfère-t-elle à des entités discrètes ou continues ?*

J'ai dans ma tête la représentation physique, comment je me représente un proton, c'est quelque chose où il y a des entités discrètes mais une mer de gluons qui lie tout ça, c'est quasiment du continu. Le problème ou la beauté de la chose, c'est que, conceptuellement c'est difficile à analyser, et on est obligé de toujours penser en termes d'expériences sinon on se plante. Disons, que d'un seul coup, il y a des questions qui n'ont plus de sens. Alors que si on dit : « est-ce que c'est discret ou continu ? » et que l'on se dit « quelle expérience je peux faire ? », là ça prend un sens.

Est-ce que ça peut exister des expériences qui montrent que c'est discret ou continu ?

Ce que l'on voit, c'est que si on tape sur un atome, on ne finit jamais par passer à travers. Il n'y a plus de niveau discret au niveau du noyau.

- *Etes-vous d'accord avec cette proposition d'Heisenberg de remplacer le concept d'une particule fondamentale par celui d'une symétrie fondamentale ?*

Oui, je suis assez séduit par des théories où finalement la matière n'existe pas vraiment, où elle est juste une conséquence de la géométrie derrière.

- *Mathématiques : est-ce un outil élaboré par les humains ? Ou une réalité indépendante et transcendante ?*

C'est un outil fabriqué par les humains, tout est fabriqué par les humains : la religion, Dieu.

Et la réalité ?

La réalité c'est ce que l'humain observe.

- *La nature est-elle ordonnée et équilibrée ou chaotique ?*

C'est-à-dire ?

Chaotique dans le sens où elle n'obéit pas un ordre déterminé.

La nature est déterministe donc ordonnée, mais obéit à des statistiques, le chaos est la conséquence de notre incapacité à prévoir le point départ.

Est-elle simple ou complexe ?

Simple et complexe. Qu'il y ait cette diversité et cette complexité, c'est assez incroyable.

- *Pensez vous que la science peut nous donner un savoir sur toutes les structures de la réalité ou bien qu'elle ne peut pas accéder à toute la réalité, une partie restera voilée, non mesurable ?*

J'ai l'impression qu'on ne sortira jamais du problème du mathématicien qui démontre un théorème, il a besoin d'hypothèses. Tu as beau avoir un cerveau infini, à un moment tu as besoin d'hypothèses. Pourquoi j'écris un lagrangien, je peux mettre certaines symétries, mais il faut des hypothèses. Par exemple, pourquoi le principe de moindre action ? Je pense qu'à un moment ou un autre, il y aura toujours ce problème d'hypothèses. Les conditions initiales c'est mesurable, les hypothèses je pense que ça ne l'est pas. Elles évoluent, mais à moment il faut partir de quelque chose, ça peut sembler raisonnable, mais pourquoi ça l'est, je ne sais pas.

- *Êtes-vous d'accord avec cette phrase : « Le futur de l'univers est déterminé par l'état présent de l'univers (indépendamment de notre capacité à le prévoir) » ?*

Bah,... oui.

- *Quel est pour vous le principal problème d'interprétation de la théorie quantique ?*

Le problème du vide quantique. Le problème c'est qu'à l'université tu mets *bra-ket zero* ($\langle 0$) tu mets des opérateurs, mais c'est quoi ce $\langle 0$? On ne peut pas le mesurer car en fait, il n'y a pas de vide, il est rempli ! On mesure des forces entre conducteurs dans du vide. Un autre problème, c'est les états intriqués.

- *Quelle est, pour vous, l'interprétation de la théorie quantique la plus convaincante ?*

Les interprétations ? Bohm c'est une théorie à variable cachées, c'est ça ? En tous cas, par les expériences des années 80, Aspect et compagnie, elle a été invalidée. Dès que tu n'as pas les états intriqués, tu dois avoir les inégalités de Bell. Il y a des gens qui soutiennent que dans les expériences type Aspect, il y a des trous, des *loopholes*. En gros, c'est comme quand tu prends un générateur de nombres aléatoires, ce n'est pas aléatoire parce que le générateur est déterministe, ils ont besoin d'orienter l'ordre des polariseurs. Et il y a des gens qui vont dire, ah on connaît l'ordre des polariseurs, donc ce n'est pas aléatoire. Et on a besoin d'avoir des nombres aléatoires. Et il y a Everett aussi. C'est quoi son interprétation ?

- *Manyworlds, les mondes multiples.*

Oui, mais ça, j'ai un peu du mal, parce que... On observe ce que l'on observe parce que c'est nous qui l'observons. Je veux dire, c'est une théorie très observationnelle. Moi, je trouve ça bizarre, parce que l'on remet dedans tout ce que l'on a cherché à enlever.

- *L'observateur vous voulez dire ?*

Le fait de choisir, enfin, tu choisis un chemin juste parce... Tu essaies d'établir pourquoi les choses s'enchaînent, et finalement tu abandonnes ça en disant, ça s'enchaîne comme

ca et puis c'est tout, tu dis j'observe ca parce que je suis à cet endroit et si j'avais été ailleurs, j'aurais observé autre chose. Ca me dérange.

- *Qu'est ce qui vous dérange ? C'est parce que ce n'est plus déterministe ?*

Oui, ce n'est plus déterministe. Tout peut arriver, simplement j'observe ca, parce que c'est comme ça.

• *Quelles est la conséquence de l'observation de la violation des inégalités de Bell ?*

La notion d'espace existe quand même. L'espace c'est des coordonnées, c'est de la géométrie. Dans l'instantanéité, la causalité n'est pas autorisée dans ces expériences là : ce qui est sûr, c'est qu'il n'y a pas de transmission d'information instantanée, ou plus rapide que la vitesse de la lumière. Tu mesures un photon là et un autre là, c'est un seul objet. La fonction d'onde est intriquée. Est-ce que ces expériences remettent en cause la notion de causalité ?

- *Certaines personnes distinguent localité et séparabilité...*

Oui il faut aussi différencier espace et localité. C'est un seul état quantique même si c'est localement à des endroits différents. C'est très complexe. C'est là où on a besoin d'une expérience, car on est perdu.

- *On l'a l'expérience, justement, celles de type Aspect.*

Oui, mais intellectuellement, on est perdus ! Les états intriqués c'est intéressant mais c'est chiant. Il y a quelque chose de bizarre, il faut que je creuse.

• *Concernant le caractère aléatoire des événements quantiques individuels tels que la désintégration radioactive d'un atome ? L'aléatoire est-il seulement apparent, ou bien existe-t-il un déterminisme caché ?*

Pour moi c'est aléatoire. C'est le débat de Bohr et Einstein. Moi, je suis plutôt Bohr. C'est intrinsèquement aléatoire. On a tendance à observer cela.

Comment pouvez-vous être Bohr en étant déterministe, je veux dire concernant votre réponse par rapport au déterminisme dans l'univers ?

Parce que c'est déterministe. Les lois derrière sont déterministes. Il y a une loi statistique, c'est déterministe, ce n'est pas n'importe quoi. Je peux prédire le pourcentage de chance.

Vous pouvez prévoir le pourcentage mais donc tout n'est pas prédit ?

L'aléatoire et le hasard ce n'est pas pareil. Pour moi c'est du déterminisme mais il y a une partie aléatoire intrinsèque. La théorie derrière est déterministe, elle me permet de déduire mes probabilités. Ca peut ressembler au chaos. Philosophiquement, on n'est pas capable de mesurer la condition initiale à l'infini. Ce n'est pas possible d'avoir une précision infinie. Tu cherches à prédire, mais tu sais que tu ne pourras jamais mesurer le point de départ. Pour moi si une loi te permet de prédire quelque chose, elle est déterministe, même s'il y a de l'aléatoire dedans. Au final, on est pas loin d'avoir un aléatoire intrinsèque. Pour moi déterministe ca veut dire qu'il y a une loi qui te permet de prédire des trucs. Et, pour moi, même si la loi te prédit des choses statistiques elle prédit quand même. Un lancé de dé est quantique, car le rebond sur la table est subatomique, le rebond est du domaine microscopique. Donc un lancé de dé est quantiquement aléatoire mais pour moi ca reste déterministe, car tu auras des probas.

• *Justement, à quelle frontière placez vous le niveau quantique, et le niveau classique, à quelle niveau n'y a-t-il plus d'états superposés, est-ce qu'il y a une limite ?*

Je ne sais pas.

Est-ce qu'il y a un facteur qui entre en jeu ?

J'ai l'impression que le problème c'est d'avoir un système complètement isolé. Il y a une question d'interactions, avec tout ce qu'il y a alentour. Expérimentalement, c'est vachement difficile. Il y a une limite pour l'instant qui est expérimentale. Après, on peut sans doute monter cette limite.

Quels types d'interactions ?

Les interactions qu'on connaît, les photons. Les interactions électromagnétiques, quoi.

- *Les objets physiques ont-ils leur propriété (position, vitesse, etc) définies indépendamment et avant la mesure ?*

Il n'y a pas besoin d'états superposés. Moi, je pense, c'est ce que dit Heisenberg, qu'il n'y a pas de position et de vitesse définies. C'est-à-dire que si tu veux vraiment mesurer la vitesse, tu perds la mesure de la position. Et inversement. Ça veut dire que, quelque part, macroscopiquement ça a un sens, mais au niveau microscopique, c'est quelque chose encore d'aléatoire. Et c'est un problème de mesure. On a l'impression qu'une particule est localisée, et qu'elle a une vitesse. Elle perd ces propriétés là à partir du moment où on essaie de les mesurer. Donc, la mesure fait partie intégrante de la théorie. C'est quelque chose qui est nouveau avec la mécanique quantique, on est loin de l'avoir digéré.

- *On passe à un autre type de questions. Moins en rapport avec la physique. Est-ce que la religion et la science sont concernées par des questions communes ?*

Oui, pour moi. Je pense qu'il faut combattre les religions parce que c'est un instrument de pouvoir et c'est un carcan idéologique. De mon côté, je ne sais pas si je crois en Dieu, ça dépend des jours.

- *A propos de la conscience (l'impression d'un "Je" qui existe) émerge-t-elle de la matière ? Ou est-ce que c'est l'inverse, la matière qui émerge de la conscience ? Ou bien ni l'un ni l'autre ?*

Je pense que la conscience émerge de la matière. C'est chaud comme question.

- *Un fait peut-il être vrai et faux simultanément ?*

Au niveau physique ou au niveau humain ? A tous les niveaux ?

Oui, à tous les niveaux.

Oui, par exemple le chat de Schrödinger peut être mort et vivant en même temps.

- *Devons nous nous ajuster à la nature ou la contrôler ?*

Ce n'est pas du tout pour les physiciens cette question ?

C'est une question éthique, qui intéresse la science.

Il y a probablement un équilibre à trouver. Non, on doit s'ajuster, on arrive à des périodes où il faut qu'on s'ajuste. En même temps, je ne sais pas trop ce qu'est la nature, l'être humain fait partie de la nature. J'ai du mal à mettre l'humain en dehors, souvent, parce qu'on se considère comme un observateur éclairé, on a tendance à se mettre en dehors. Mais nous, on cherche à s'ajuster, alors que la nature elle s'en fout.

Merci, on a fini.

Entretien avec L.H., physicien indien

Dans son bureau, à l'Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics, à Pune, le 25/02/2014.

- *What is your area of specialization?*

Basically I'm working on field theory. This is related to quantum theory in gravitational background such as black hole and cosmology

- *Do you find that scientific disciplines are too much compartmentalized? That people work in narrow fields ?*

No, we do work together. For example, we have a group here. We often share projects like 2 or 3 persons working on one thing. Sometimes you work on your own ideas, own projects and sometimes you collaborate. My group has also collaborated on international level.

- *But you don't work with people from other disciplines?*

Yes we do. I am working on things apart from my own primary thing.

- *What would you change in science today?*

My theoretical domain, I would divide it in people who have some observations like cosmologists and others. And I think that currently the focus of the funding agencies is more towards the big projects. The theoretical domain should also be considered

- *Why did you choose to become a scientist?*

I was driven by the curiosity and when I worked out something it gave me joy. It is the element of joy, happiness.

- *And in your family, are there some scientists?*

So, my father is masters in physics and he is working in public sector.

- *Is there any scientist who has inspired you?*

Since my childhood, my father has encouraged me. And otherwise it's Feynman.

- *For you what is the most important aspect or criteria of science? You can choose between objectivity, predictability, determination and logical consistency, or you can say something else.*

I think predictability is the main thing as the major part which goes into application is related to predictability. When you formulate it by the law and then when it is applied anywhere then you want to predict what happens. That is what the thing is to check the law. This other thing is to apply to places where it hasn't been applied. For example ... in daily lives like, suppose people who make bridges, you have to decide on basis of what kind of bridge will hold it like suspension bridge, then you say we have this cord for holding the bridge together and then we have to fix it, and then you go back to say okay how the equation will predict what will happen if this is the course of action if this is the model.

- *Are you inventing the experiments even if you don't make it?*

Yes

- *So, who makes the experiment?*

Not everything can be structural experiment. Let's take the question from a gravity point of view, it may not be a structural experimental but then the aspects of science give you certain clues when you can really know that you are going right. It gives you certain clue that you are doing something right.

- *What is the most important aspect for theory - Simplicity, symmetry, beauty or validity for different scale ? Or, anything else ?*

It's like something that appears simple may not actually be simple. When the laws of physics are very simple it's like they obey to the rules of symmetry. But that symmetry may not be symmetry to a common man. The orbits of planets are very symmetrical but nobody would say that it's symmetrical but it is. Symmetry basically implies simplicity. It is symmetry which gives you the simplified picture.

- *Do you think there should be a unified model that describes reality, a kind of unified theory?*

Not a unified theory but a unified description with many different theories.

- *In your opinion what are the basic building blocks of matter in the universe?*

Of course, the elementary particle. And to our current knowledge it is the standard model. Anything else, for example say string theory, could be the most fundamental thing.

- *So you think there should be something behind these fundamental particles or they represent a limit?*

I think there should be something behind them but we are not sure.

- *And would this be? Another particle or something else?*

That's the philosophy. That would be asking what is the most fundamental thing. I think, in my opinion, ... currently, the things which have been established in the scenario are basically the fundamental particles. And then you start asking questions with your experiments like for example you wish to ask a question about what happened just few moments after the impact when the universe started or what happened at places like black hole where gravity and force gravity both are equally important? At those places you see some phenomenon where you consistently need to combine the matters of gravity with matters of quantum physics. So there you have hope that there will be a theory of common gravity, which will hold the law of quantum physics. And one of the candidates is string theory. And for my personal choice, I believe that there is sufficient evidence that the microstructure could be quantum fields.

- *Do you agree with Heisenberg when he proposed to replace the concept of fundamental particle by the concept of fundamental symmetry?*

Technically in quantum mechanics we don't really use the concept of particles currently. The language to work with particle phenomenon is called quantum theory. So particles are actually thought of as excitations of quantum theory. There's a whole field which is everywhere and various excitations of that field for example electromagnetic field, the excitation of that field gives you an electron.

- *Do you think mathematics are a tool built by humans or are they independent and transcendent reality?*

I'd like to put it as a tool which we have constructed. It all started with counting actually, when people wanted to count or think.

- *Nature is orderly, balanced or chaotic? Simple or complex?*

It is orderly and balanced. And it's complex, definitely. Because the laws particles make it, I mean even a simple system like a cup of coffee is very complicated. You cannot know. If I ask you to write an equation you can, but if I ask you to solve it, it's impossible.

- *Do you think science can give us potentially all the knowledge on reality or do you think that there exists a limit in knowledge?*

Ok see uhh... there are questions which I believe science may not be able to answer, it is necessary but not sufficient. For a very simple way, the way we feel and the way we think. People do work on such topics but then again I feel there are certain things which may not be in this quantitative domain.

- *Does physics have access to all the reality?*

Yeah, at some level physics can explain how molecules are but not the whole of it together.

- *About consciousness, do you think it comes from matter?*

Consciousness is something which is still not explained. The whole of nature. Ok from my personal opinion I would say this is one of the questions which science needs to answer. Consciousness is again something qualitative not quantitative. You cannot quantify it. I mean I would say this cup is conscious, conscious of its existence but then again what degree of consciousness the basic from the cup to the plaque or to any insect or to any human being

cannot really be quantified. Basically my opinion is that consciousness can only explain quantitative but qualitative phenomenon is still to be determined.

- *Is the future (of the universe) determined by the physical state of the universe now (Regardless of our ability to predict or measure it) ?*

Yes

- *For you, what is the major problem in the interpretation of quantum mechanics ?*

I think that the interpretation of quantum mechanics currently we have in use is the Bohr's interpretation and well uhh.. ok I think uhh.. as long as.. ok in my personal opinion I wouldn't really like to dwell upon interpretation and would rather compute things which I can measure. Quantum mechanics give you tools to compute.... Some scattering of particles like radioactivity. Something which is radioactive. So I think Bohr can calculate what is really the radiation which is coming out of it, what is the formula you're cutting back, things like that. So .. and .. I can just go and compute these things without worrying about where is the computational. Go and found the equation. So .. uh.. the interpretation like for e.g. quantum mechanics has one interpretation which is called Many-Worlds Interpretation. So again when you go into interpretations it becomes qualitative and uhh.. and then it's not easy to do for example. In many worlds interpretation, MWI, you again require something to test that so and uhh.. so I personally think you should really compute things and test those rather than dwelling upon interpretation.

- *What interpretation do you prefer?*

I prefer the Bohr's interpretation of wave functions.

- *What is the consequence of the observation of the violation of Bell's inequalities ?*

I think I'm not really much experienced of this aspect. So but .. uhh... yeah one thing which I can tell you is any measurement which is made is local. I don't think I can answer this question well. Uh.. about locality uh.. I think people who work on this thing do understand it. It would not shock me if it was non local. Because I know the experiments for this thing which like for exemple. You know about the teleportation that has been made so... but I wouldn't really .. I don't know much about the fact.

- *What is your opinion about the randomness of individual quantum events? (like radioactive decay of an atom)? Do you think that randomness is a fundamental concept in nature?*

It's the way nature is but you see with this ... with the randomness there's one thing which nature has given. It gives us the power of predicting all the probabilities; it has given the ability to predict the probability. Because you see what QM is, it's basically dynamics of a probability of any given task. So it's like you know like 50% yes this is there. You will not know if you flip a coin it will be tail or heads. If you have flipped the coin ten thousand times you tell the result five thousand times. You know the law, the law itself is about the probabilities. For exemple, take a box and put a particle in it. Now what QM says is that I can give you a law to know the probability at some place. If you are storing the particles at given point time t greater than 0, what is probability of finding the particle if the box is limited to 0 – 10 meters? So at 10 seconds what is the probability that the particles will be at say, 5 meters, if you put it at initial point ? So the laws of QM tell you the probability of finding the particles anywhere.

- *Do you think that consciousness of the observer plays a role in the determination of the results?*

For exemple, the moon is always there whether you observe it or not, according to QM yes but macroscopically – no. The moon is always there whether you observe it or not, it doesn't make any difference for the observer. But for consciousness I'm not sure if it's playing a direct role in measurement. It's like I don't know I mean for instance, I'm doing this experiment with electrons, I have two slits I cover one slit and electron behave like particles. I

have both slits they behave like waves. I am just making a slit kind of thing but I am not sure where the consciousness comes in.

- *In this experiment with two slit, do you try to know by which slit the electron has passed ?*

So, near one hole you put a filter kind of thing and, when an electron will come, it will filtrate, it will give a spark so you know like this which is the slit where the electron has gone through. Now, but the thing is that if you put that there, it destroys the internal pattern. The electron which will have been filtered will be out of coherence. For the electron for which you have counted, there will not be any kind of pattern. So uh.. and no matter if I try or anyone else does it, anyone who does it, the same properties follow. So if it really depends upon consciousness, it would be different for different observer or the way we think. I am not sure whether the direct part is played by it.

- *Do you think that physical objects have their properties (load, position, speed, etc.) defined before the measurement or is it the measurement that gives the properties?*

Again for macroscopic things it is different. For exemple, this cup is always a cup whether I observe it or not. But the question whether it exists or not before I observed it, it is not possible to answer, because if I haven't seen the cup it may or may not exist, who knows ? But anyone else who sees it, for him, it exists. So how an observer changes the properties of this thing is not really a question when the measurement is made or not. When I made a particular choice, I made the choice of having two slits, the electron before that they are just electrons and where I have two slits they gave me information on the pattern that they behave like a wave. The properties of wave like then I put a filter there I close another slit they behave like particles. So what I think is inherently that they are electrons and the way I made a measurement, I have put something it ticks out one of the properties. So what I mean is unless till the time measurement is made there is no point in asking what they are or what their properties are. Properties are only determined when you are interacting with someone. It is only the interaction, if two persons are not even interacting, they won't do their talking.

- *And the superposition of macroscopic states, do you think that is possible ?*

No, I don't think it's possible because, superposition is valid only for microscopic objects. You have a system, it's in one state, and it can also be in other state. So there are two states possible for that. And then, there will be, what would be the general wave function which we will have probability distribution. The equation which they are solution to obeys the principle of superposition i.e. the sum is also the solution, if x is the solution, y is the solution then $x+y$ is also the solution. That is for the general thing. But for the macroscopic objects, there are lot of particles, there are 10^{23} particles and for each of them I will be writing that one thing up that thing would also break down.

- *Where would be the border between them ?*

The border is not really clearly defined so it depends from system to system for exemple normally it's the atomic level.

- *Now about cultural aspect, you think astrology be consider as a kind of science umm...*

No

- *Do you believe in reincarnation?*

In personal... Umm yeah I do.

- *Do you think old knowledge like Indian knowledge could be of any relevance for today's science?*

As far as science is concerned I don't think there's any quantitative knowledge, qualitatively but... those aspects which are qualitative like for e.g. caste system. I don't really consider which is old or new. Its knowledge, something I am writing it now something which could be old people after 100 years. So knowledge is knowledge and if it has something to say about...

I think it does not have any quantitative thing to say about, there are no laws, there's nothing written, like : I toss a ball and any knowledge which might be there is something ... I believe there are qualitative sort of major things which can be right. Qualitative is not by observation, it is by experience.

- *In science, can the facts be true and false at the same time?*

Yeah.

- *And my last question should we adapt to nature or control nature?*

Control in what sense?

- *In mastering nature*

Well we all uhh... try to understand how it works. And I believe the most ...that basically is the thing more to understand how things are working, controlling won't really be the thing. What you know you can apply.

- *So you think we should adapt and control?*

Yes.

- *We're done. Thank you for this discussion.*

Annexe 2. Table des réponses condensées, physicien par physicien

Ces deux tableaux rassemblent les réponses des physiciens indiens et français respectivement, de manière succincte et schématique. Les cases en blanc marquent une absence de réponse, pour des raisons diverses : question non posée, réponse non fournie ou peu claire, etc.

| Physicien s. Français | théor /expé | tranch e d'âge | déterministe/mdet erministe | | continu/discontinu | | | objectif/subjectif | | réductionnisme/système | | | ordre/désordre | | | Autres questions | | | | |
|--------------------------|----------------|-------------------|--------------------------------|------------------|--|-------------------|----------------------------|------------------------|------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|------------|---------|
| | | | Désinté gration | Unive rs | Blocs élémentaires | Microph ysique | Bell | Avant la mesure | Conscie nce | Discipli nes | Unificati on | Heisenber g | Ordre nature | Contrôle | biggest paradox | Interprétati on | Théorie | Critères scientificité | de | Dualité |
| U.R. | les deux | 40 | détermi nisme | déter ministe | champs | continu | non local | défini | matériell e | trop | unifié | pas d'accord | ordonn ée | les deux | Bohm | localité | beauté | prédictabilité | exclu s | |
| U.Z. | les deux | 40 | aléatoi re | aléatoi re | particule, quarks | discret | non local | superpos é | matériell e | pas trop | multiple | pas d'accord | chaotiq ue | adapter | Rovelli, Everett | relativité, mesure | beauté | cohérence logique | inclus | |
| X.K. | thé | 60 | aléatoi re | déter ministe | oui, les quips | discret | non séparable, local | défini | matériell e | pas trop | multiple | pas d'accord | ordonn ée | Copenh ague | superpositi on | | prédictabilité | prédictabilité | exclus | |
| J.J. | | 40 | aléatoi re | aléatoi re | discrets | discret | local | défini | ne sait pas | trop | unifié | d'accord | ordonn ée | aucune | localité | beauté, simplicité, symétrie | prédictabilité | inclus | | |
| X.U. | thé | 60 | détermi nisme | déter ministe | champs | continu | local | superpos é | immaté rielle | trop | unifié | pas d'accord | les deux | contrôle r | Copenh ague | localité | simplicité, unité | cohérence logique | inclus | |
| U.U. | thé | 30 | aléatoi re | aléatoi re | sais pas, aucun ? | discret | non local | superpos é | matériell e | trop | ne sait pas | pas d'accord | les deux | adapter | CSM | aucun | prédictabilité, beauté | objectivité | exclus | |
| P.Z. | thé | 40 | aléatoi re | aléatoi re | champs | les deux | non local | superpos é | matériell e | trop | unifié | d'accord | chaotiq ue | adapter | Everett | superpositi on | beauté, simplicité, symétrie | cohérence logique | inclus | |
| V.Z. | thé | 20 | détermi nisme | déter ministe | aucun | continu | non local | superpos é | matériell e | trop | multiple | d'accord | ordonn ée | adapter | Copenh ague | mesure | prédictabilité, symétrie | prédictabilité, objectivité | inclus | |
| X.Z. | thé | 60 | aléatoi re | ne sait pas | aucun infini, excitation champs | continu | non local, séparable | superpos é | ne sait pas | trop | unifié | pas d'accord | les deux | adapter | Copenh ague | aucun | prédictabilité, unité | prédictabilité, cohérence, unité | exclus | |
| L.L. | exp | 30 | aléatoi re | déter ministe | quarks | les deux | non local | superpos é | matériell e | trop | unifié | pas d'accord | ordonn ée | les deux | aucune | | prédictabilité | cohérence logique, symétrie | inclus | |
| J.L. | thé | 40 | aléatoi re | déter ministe | aucune | continu | non local | quelques propriétés | ne sait pas | trop | unifié | pas d'accord | chaotiq ue | contrôle r | aucune | mesure | compatibilité, beauté, simplicité | objectivité, prédictabilité | exclus | |
| N.L. | exp | 20 | détermi nisme | aléatoi re | interactions | discret | non local | défini | matériell e | trop | multiple | d'accord | ordonn ée | contrôle r | Copenh ague | localité | prédictabilité | prédictabilité | inclus | |
| X.L. | les deux | 30 | aléatoi re | aléatoi re | ne sait pas si qqchose sous quarks | les deux | non local | défini | matériell e | pas trop | unifié | pas d'accord | chaotiq ue | | aucune | mesure | prédictabilité | cohérence logique | inclus | |
| U. | exp | 70 | aléatoi re | aléatoi re | ne sait pas | les deux | non séparable, local | superpos é | | trop | unifié | pas d'accord | ordonn ée | | aucune | mesure | prédictabilité, beauté, simplicité | prédictabilité, cohérence logique | | |
| W.L. | thé | 70 | aléatoi re | déter ministe | champs quantiques | les deux | local | superpos é | matériell e | trop | multiple | d'accord | les deux | | aucune | observateur | prédictabilité | remise en cause | exclus | |
| E.L. | exp | 40 | aléatoi re | aléatoi re | champs | les deux | non local | superpos é | ne sait pas | trop | multiple | pas d'accord | les deux | contrôle r | Copenh ague | observateur, mesure | prédictabilité, plus contexte | prédictabilité | exclus | |
| F.L. | exp | 30 | aléatoi re | déter ministe | espace temps, géométrie | continu | non local | superpos é | matériell e | trop | unifié | d'accord | ordonn ée | les deux | ne sait pas | Everett, Copenh ague | Prédicatabilité, symétrie, beauté | prédictabilité, cohérence logique | inclus | |
| H.L. | thé | 40 | aléatoi re | aléatoi re | états d'énergie | discret | local | défini | matériell e | pas trop | multiple | pas d'accord | les deux | adapter | Copenh ague | localité | prédictabilité | prédictabilité | inclus | |
| W.W. | exp | 50 | aléatoi re | aléatoi re | vibrations | continu | non local | superpos é | immaté rielle | pas trop | unifié | d'accord | ordonn ée | les deux | Copenh ague | relativité | prédictabilité, simplicité, unité | prédictabilité | exclus | |
| P.Q. | exp | 50 | aléatoi re | déter ministe | quarks, images cours laissé traces | discret | non local | superpo sé | matériel le | trop | multiple | pas d'accord | chaotiq ue | adapter | Everett | mesure | prédictabilité, unité | prédictabilité | inclus | |
| L.Q. | les deux | 30 | détermi nisme | aléatoi re | excitation champs | les deux | non local | superpos é | immaté rielle | trop | unifié | pas d'accord | ordonn ée | les deux | Bohm | mesure | unité | cohérence logique | inclus | |
| P.X. | exp | 30 | aléatoi re | aléatoi re | particules | continu | non local | superpos é | immaté rielle | trop | unifié | pas d'accord | les deux | adapter | Copenh ague, aucune | localité | simplicité, prédictabilité | prédictabilité | exclus | |
| N.X. | exp | 40 | détermi nisme | aléatoi re | corpuscule | discret | ne sait pas | superpos é | matériell e | trop | unifié | d'accord | chaotiq ue | les deux | ne sait pas | ne sait pas | prédictabilité | prédictabilité | exclus | |
| J.N. | les deux | 20 | aléatoi re | déter ministe | paquets d'ondes | continu | local | défini | matériell e | trop | unifié | d'accord | les deux | les deux | Bohm | dualité onde/corpus cule | simplicité, beauté, symétrie | prédictabilité, objectivité, hinculturalité | exclus | |
| O.X. | thé | 20 | aléatoi re | déter ministe | oui, pas infini | les deux | non local | superpos é | immaté rielle | pas trop | unifié | pas d'accord | chaotiq ue | adapter | Décobér ence | abstrait | prédictabilité | prédictabilité | inclus | |
| X.P. | les deux | 70 | aléatoi re | aléatoi re | limite, champs localisés | les deux | non local | | matériell e | pas trop | unifié | pas d'accord | ordonn ée | les deux | Everett état relatif | vide quantique | cohérence logique, rationnelle | objectivité, rationalité | exclus | |
| L.P. | les deux | 30 | aléatoi re | aléatoi re | particules même si évoque champs | les deux | non local | quelques propriétés | matériel le | trop | multiple | pas d'accord | ordonn ée | les deux | Copenh ague | dualité onde/corpus cule | prédictabilité | objectivité, prédictabilité, déterminisme | inclus | |
| J.R. | thé | 60 | détermi nisme | déter ministe | quarks, depend niveau | continu | local | défini | immaté rielle | trop | unifié | pas d'accord | les deux | contrôle r | Copenh ague aucune | indéterminist e | cohérence logique | inclus | | |
| Y.R. | les deux | 50 | aléatoi re | aléatoi re | modele standard dend résolution microscope | les deux | local | défini | matériel le | pas trop | multiple | d'accord | ordonn ée | adapter | ne sait pas | vide quantique | prédictabilité | objectivité, prédictabilité | inclus | |
| U.N. | exp | 20 | détermi nisme | déter ministe | oui, R=1 | continu | local | défini | matériel le | pas trop | ne sait pas | pas d'accord | les deux | les deux | Everett | localité | symétrie | cohérence logique | inclus | |
| E.T. | thé | 30 | aléatoi re | déter ministe | ne sait pas | ne sait pas | non local | superpos é | ne sait pas | pas trop | multiple | pas d'accord | les deux | | aucune | mesure | prédictabilité | prédictabilité | inclus | |
| N.T. | exp | 50 | aléatoi re | déter ministe | corpuscule | discret | ne sait pas | défini | immaté rielle | trop | unifié | d'accord | ordonn ée | contrôle r | ne sait pas | ne sait pas | symétrie, prédictabilité | cohérence logique | exclus | |
| U.Y. | thé | 20 | détermi nisme | déter ministe | champs | continu | local, non séparable | quelques propriétés | matériel le | trop | unifié | d'accord | ordonn ée | les deux | Everett | mesure | simplicité, prédictabilité | conscience | inclus | |
| J.Y. | exp | 60 | aléatoi re | déter ministe | modele standard, excitation champs | les deux | non local | superpo sé | immaté rielle | trop | multiple | pas d'accord | les deux | les deux | Copenh ague | aucun | simplicité, prédictabilité | cohérence logique | exclus | |
| J.X. | exp | 60 | | | | continu | | | cordes | trop | unifié | | | | Copenh ague | aucun | symétrie | | | |

Tableau 1 : réponses des physiciens français aux différentes questions utilisées pour les themata, ainsi que des questions traitées dans la thèse mais qui n'ont pas servi à élaborer des themata. Les groupes de couleurs correspondent aux blocs thématiques : les questions sont sous les themata correspondants.

Annexe 2. Table des réponses condensées, physicien par physicien

| Physiciens indiens | | | déterministe/indéterministe | | continu/discontinu | | | objetif/subjectif | | réductionniste/systémisme | | ordre/désordre | | Autres questions | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------|-----------------------------|--------------|--|-----------------------|-------------|-------------------|--------------|---------------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--|-------------------------------|--|-----------------------------------|-------------------|---------|--------|
| Initiale modifiée | tranche d'âge | Théorie | Désintégration | Univers | Blocs élémentaires | Microphysique | Bell | Avant la mesure | Conscience | Disciplines | Unification | Heisenberg | Ordre nature | Contrôle | biggest paradox | Interprétation | Théorie | Critères scientifiques | de | Dualité | |
| U.L | 20 | les deux | déterminisme | déterministe | Subatomique particules | les deux | discret | local | défini | immatérielle | trop multiple | d'accord | ordonné | adapter | aucun | connaît pas | prédictabilité | cohérence logique | | exclus | |
| L.Z | 60 | exp | déterminisme | déterministe | corpuscules | les deux | local | superposé | immatérielle | trop | unifié | d'accord | ordonné | adapter | superposition | connaît pas | Symétrie | cohérence logique | | inclus | |
| L.B | 30 | thé | aléatoire | déterministe | standard model | discret | local | superposé | immatérielle | trop | unifié | d'accord | chaotique | contrôler | mesure | Bohm | prédictabilité | cohérence logique | | exclus | |
| C.H | 50 | les deux | déterminisme | aléatoire | atomes, pas sur que les quarks existent | continu | local | défini | immatérielle | pas trop | multiple | d'accord | ordonné | adapter | quantas | connaît pas | prédictabilité | prédictabilité | | inclus | |
| U.J | 40 | thé | déterminisme | | loi fondamentale | discret | | | matérielle | pas trop | unifié | d'accord | ordonné | les deux | mesure, localité | Copenhague | Symétrie | prédictabilité, cohérence logique | | inclus | |
| N.J | 70 | les deux | aléatoire | aléatoire | time-space-standard model | les deux | local | superposé | immatérielle | trop | multiple | d'accord | les deux ordonné | adapter | relativité | Everett | prédictabilité, Symétrie, beauté | cohérence logique | | inclus | |
| L.J | 20 | thé | aléatoire | déterministe | | discret | local | défini | immatérielle | trop | multiple | d'accord | | adapter | mesure | Everett | prédictabilité | prédictabilité | | exclus | |
| J.T | 70 | thé | déterminisme | déterministe | contexte | discret | local | superposé | matérielle | pas trop | | pas d'accord | les deux | les deux | | Copenhague, Bohm plus mesure | dualité onde/corpusculaire | prédictabilité | cohérence logique | exclus | |
| I.J | 60 | thé | aléatoire | aléatoire | nergie champs symétriques | pas prendre en compte | non local | superposé | immatérielle | pas trop | unifié | d'accord | ordonné | les deux | | Bohm | Symétrie, Simplicité, unicité | prédictabilité, neutralité | | inclus | |
| A.J | 50 | thé | les deux | déterministe | fields, particules | discret | local | superposé | matérielle | pas trop | multiple | pas d'accord | chaotique | adapter | aucun | aucune | prédictabilité | objectivité | | exclus | |
| L.W | 20 | exp | aléatoire | déterministe | fermions | discret | local | superposé | matérielle | pas trop | unifié | d'accord | les deux | adapter | aucun | connaît pas | prédictabilité, Symétrie | cohérence logique, objectivité | | exclus | |
| R.W | 70 | les deux | aléatoire | | particules, forces | les deux | non local | superposé | | pas trop | multiple | d'accord | les deux | | mesure | Copenhague | prédictabilité | cohérence logique | | exclus | |
| K.P | 50 | les deux | déterminisme | aléatoire | corpuscules | discret | | superposé | immatérielle | pas trop | multiple | pas d'accord | chaotique | adapter | relativité | connaît pas | prédictabilité | cohérence logique, objectivité | | exclus | |
| L.K | 20 | thé | aléatoire | déterministe | lois | discret | non local | défini | matérielle | trop | unifié | d'accord | ordonné | adapter | aucun | Copenhague | Unité | prédictabilité | | inclus | |
| R.K | 40 | exp | déterminisme | aléatoire | contexte, corpusculaire | discret | non local | superposé | matérielle | trop | unifié | d'accord | ordonné | adapter | aucune, Bohm | | prédictabilité | objectivité | | inclus | |
| K.W | 20 | les deux | déterminisme | déterministe | subatomique particules | discret | | défini | matérielle | trop | unifié | d'accord | ordonné | adapter | aucun | connaît pas | Simplicité, prédictabilité | prédictabilité, cohérence logique | | exclus | |
| L.X | 40 | thé | déterminisme | | aucune, contexte | discret | non local | | immatérielle | pas trop | | d'accord | les deux | les deux | aucun | Copenhague | Symétrie | | | inclus | |
| W.M | 50 | thé | aléatoire | déterministe | quarks, cordes, quarks | discret | non local | superposé | matérielle | pas trop | unifié | pas d'accord | chaotique | | mesure | Everett et hartwick et gelman | Unité, prédictabilité | cohérence logique, prédictabilité | | inclus | |
| K.X | 60 | exp | aléatoire | aléatoire | contexte, corpuscules | discret | non local | certains | immatérielle | pas trop | unifié | d'accord | ordonné | contrôler | connaît pas | connaît pas | Symétrie, Simplicité | cohérence logique, objectivité | | exclus | |
| R.I | 20 | exp | aléatoire | déterministe | fermions | discret | local | superposé | immatérielle | pas trop | multiple | pas d'accord | les deux | contrôler | aucun | aucune | prédictabilité, Symétrie, beauté | cohérence logique, objectivité | | exclus | |
| U.X | 20 | thé | | | information | continu | non local | | immatérielle | pas trop | multiple | | | | | | dynamisme, émergence | | | inclus | |
| Y.N | 40 | exp | aléatoire | déterministe | quarks, fermions, string | continu | non local | certains | matérielle | pas trop | | d'accord | ordonné | adapter | observateur | aucune | prédictabilité, Simplicité | prédictabilité | | inclus | |
| U.N | 20 | exp | | | quarks, attentes découvertes | discret | | superposé | immatérielle | pas trop | | | | | aucun | Copenhague | | | | | |
| J.O | 50 | exp | déterminisme | déterministe | fermions | continu | local | superposé | matérielle | pas trop | multiple | d'accord | les deux ordonné | adapter | aucun | Copenhague | prédictabilité | prédictabilité | | inclus | |
| J.P | 20 | thé | aléatoire | | dépend contexte | discret | non local | superposé | immatérielle | trop | multiple | d'accord | ordonné | adapter | mesure | Copenhague | prédictabilité | prédictabilité | | exclus | |
| K.R | 20 | les deux | aléatoire | les deux | thermo à la base de tout | discret | non local | superposé | matérielle | pas trop | multiple | chaotique | les deux | | localité, mesure | Copenhague | prédictabilité | cohérence logique | | inclus | |
| T.L | 20 | les deux | | | symétr Excitation champs | continu | | | | pas trop | | d'accord | | | | | Symétrie | | | | |
| I.L | 50 | exp | déterminisme | aléatoire | subjectif | discret | non local | défini | immatérielle | trop | multiple | pas d'accord | ordonné | adapter | vide quantique, dualité onde-corpusculaire | aucune | prédictabilité, unité | cohérence logique | | inclus | |
| J.L | 20 | exp | aléatoire | déterministe | fermions | discret | local | superposé | matérielle | pas trop | unifié | pas d'accord | les deux | contrôler | aucun | aucune | prédictabilité, Symétrie, beauté | cohérence logique | | exclus | |
| U.T | 50 | exp | | | | discret | connaît pas | | immatérielle | les deux | | | | | connaît pas | connaît pas | Symétrie, beauté | | | | |
| K.L | 50 | thé | déterminisme | aléatoire | modèle standard et autre concept | discret | local | certains | matérielle | les deux | unifié | d'accord | les deux ordonné | adapter | mesure | aucune | Unité | mixte, Feyrabend | | inclus | |
| L.H | 20 | thé | déterminisme | déterministe | Champs quantiques | continu | non local | superposé | immatérielle | pas trop | multiple | d'accord | ordonné | Les deux | aucun | Copenhague | Symétrie, Simplicité | prédictabilité | | inclus | |
| T.P | 50 | thé | aléatoire | ne sait pas | matière, et temps espace propriétés émergentes | discret | non local | superposé | matérielle | trop | multiple | d'accord | ordonné | les deux | mesure | GRW, Bohm | prédictabilité, simplicité, beauté, symétrie | tous déterminisme | sauf | exclus | |
| I.U | 60 | thé | déterminisme | déterministe | champs | discret | local | défini | matérielle | pas trop | multiple | pas d'accord | ordonné | adapter | mesure | Copenhague | prédictabilité | prédictabilité | | inclus | |
| L.T | 50 | exp | | | | discret | non local | superposé | immatérielle | trop | | | | | ne sait pas | | | prédictabilité | créativité | | inclus |
| J.H | 50 | thé | déterminisme | déterministe | | discret | local | défini | | | | pas d'accord | | | mesure | Bohm | | | | | |
| U.G | 70 | thé | aléatoire | | conscience | discret | non local | | immatérielle | | | d'accord | ordonné | adapter | | conscience | | | | | inclus |

Tableau 2 : réponses des physiciens indiens aux différentes questions utilisées pour les themata, ainsi qu'aux autres questions traitées dans la thèse. Les groupes de couleurs correspondent aux blocs thématiques : les questions sont sous les themata correspondants

Annexe 3. Table des themata

Ces tableaux rassemblent les réponses des médecins en format numérique, afin d'élaborer des fréquences de réponse et des adhésions thématiques.

| Physiciens français | thema Déterminisme I/ indéterminisme -I | | Continuité I/dscontinuité 0 | | | Subjectivité -I/Objectivité I | | Ordre I/Désordre -I | | | Réductionnisme -I/système I | |
|---------------------|--|--|---|---|---|---------------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------------------|
| degré d'adhésion | -0,26 | | 0,19 | | | -0,03 | | -0,22 | | | -0,35 | |
| | désintégration aléatoire I/aléatoire -I | non déterminé I/non déterminé -I | Microphysique continu I/dscret -I | « Bell » non local ou non séparable I/local séparable -I | blocs élémentaires continu I/dscret -I | Avant la mesure I/supposé -I | la conscience matérielle I/immatérielle -I | symétrie I/non symétrique -I | adaptation I/maitrise - I | nature ordonnée I/chaotique -I | disciplines clotonnées -I/ pas trop I | théorie unique - I/multiple I |
| UR | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| UZ | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 |
| XK | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| JJ | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | ne sait pas | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 |
| XU | 1 | | 1 | -1 | 1 | -1 | ne sait pas | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| UU | -1 | -1 | -1 | 1 | | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | |
| PZ | -1 | -1 | 0 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 |
| YZ | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| XZ | -1 | | 0 | 1 | 1 | -1 | ne sait pas | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 |
| LI | -1 | 1 | 0 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| JL | -1 | 1 | 1 | 1 | | -1 | ne sait pas | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| NI | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 |
| XI | -1 | -1 | 0 | 1 | | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 |
| II | -1 | -1 | 0 | 1 | | -1 | | -1 | | 1 | -1 | -1 |
| WI | -1 | 1 | 0 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | | -1 | -1 | 1 |
| EI | -1 | | 0 | 1 | 1 | -1 | ne sait pas | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| FI | -1 | 1 | 1 | 1 | | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| HI | -1 | -1 | -1 | -1 | | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | |
| WW | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| PQ | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| LQ | 1 | -1 | 0 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| PX | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 |
| NX | | -1 | ne sait pas | | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| JN | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| OX | -1 | 1 | 1 | 1 | | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| XP | -1 | -1 | 0 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| LP | -1 | | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| JR | 1 | | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| YR | -1 | -1 | -1 | -1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| UN | 1 | 1 | 1 | -1 | | 1 | 1 | -1 | | -1 | 1 | 1 |
| ET | -1 | 1 | 0 | 1 | | -1 | ne sait pas | -1 | | -1 | 1 | 1 |
| NT | -1 | 1 | -1 | ne sait pas | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| UY | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| JY | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| JX | | | 1 | | | | | | | | -1 | -1 |

| Physiciens indiens | thema Déterminisme I/ indéterminisme -I | | Continuité I/dscontinuité 0 | | | Subjectivité -I/Objectivité I | | Ordre I/Désordre -I | | | Réductionnisme -I/système I | |
|--------------------|--|--|---|---|---|---------------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------------------|
| degré d'adhésion | 0,18 | | -0,42 | | | -0,42 | | 0,21 | | | 0,15 | |
| | désintégration aléatoire I/aléatoire -I | Univers déterminé I/non déterminé -I | Microphysique continu I/dscret -I | « Bell » non local ou non séparable I/local séparable -I | blocs élémentaires continu I/dscret -I | Avant la mesure I/supposé -I | la conscience matérielle I/immatérielle -I | symétrie I/non symétrique -I | adaptation I/maitrise - I | nature ordonnée I/chaotique -I | disciplines clotonnées -I/ pas trop I | théorie unique - I/multiple I |
| UL | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| LZ | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 |
| LB | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| CH | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| UJ | 1 | 1 | -1 | | | | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| NJ | -1 | -1 | -1 | -1 | | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| LJ | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| JT | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 |
| IJ | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| AJ | 0 | 1 | 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 |
| LW | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| RW | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 | -1 | | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 |
| KP | 1 | -1 | -1 | | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 |
| LK | -1 | | -1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 |
| RK | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 |
| KW | 1 | 1 | -1 | | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 |
| LX | 1 | | -1 | -1 | | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | |
| WM | -1 | 1 | -1 | -1 | | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 |
| KX | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| RI | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| LX | | | 1 | 1 | | | -1 | | | | 1 | |
| YN | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| UN | | | -1 | | -1 | -1 | -1 | | | | | 1 | |
| JO | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| JP | -1 | | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| K.R | | | -1 | | | | | 1 | | | | 1 | 1 |
| TL | | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | -1 |
| LL | 1 | -1 | -1 | 1 | | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| JL | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 |
| UT | | | -1 | Ne connaît pas | | | -1 | | | | | 0 | |
| KL | 1 | -1 | -1 | -1 | | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | | 0 | -1 |
| LH | 1 | 1 | 1 | 1 | | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TP | -1 | | -1 | -1 | | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| IU | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| LT | | 1 | -1 | 1 | | -1 | -1 | | | | | -1 | |
| JH | 1 | 1 | | -1 | | 1 | | -1 | | | | | |
| UG | -1 | | -1 | 1 | | | -1 | 1 | 1 | 1 | | | -1 |

Tableau 3: grille de réponses aux questions pour la détermination du degré d'adhésion aux différents themata, pour les deux groupes de médecins Indiens et Français. Ces chiffres sont repris dans les diagrammes du chapitre IV. Chaque couple thématique est représenté par un blocs de questions et une couleur. Chaque thema du couple se voit attribuer un degré (1 ou -1) et les réponses à chacune des questions qui l'alimentent sont aussi évaluées en fonction de leur affinité avec le thema (1 ou -1, 0 pour la neutralité). Le coefficient d'adhésion est calculé en élaborant la moyenne sur l'ensemble des réponses aux différentes questions d'un bloc thématique.

Annexe 4. Déroulé des entretiens, hésitations de recherche, élaboration des questions

Nous présentons ici la manière dont se sont passés les entretiens, et comment ont évolué les questions posées, au fur et à mesure des rencontres.

Déroulé de l'entretien

Les entretiens ont été en très grande majorité individuels. Parmi les Français, quatre entretiens ont été réalisés en binôme. Parmi les physiciens indiens, deux entretiens ont été réalisés en binôme et un entretien a été réalisé en trinôme. Ces regroupements se sont faits en fonction des contextes et des disponibilités des participants. Cela a parfois constitué un atout, en permettant, grâce aux discussions qui s'engageaient entre physiciens, de permettre à certains d'affiner leurs avis, leur position, notamment sur les questions scientifiques, se rapportant à la théorie quantique. Cela a parfois été un inconvénient, en empêchant certains participants d'oser témoigner leur avis. Dans ces cas là, je suis revenue vers eux ultérieurement pour vérifier leur point de vue, de manière individuelle.

Concernant le déroulé de chaque entretien, je commençais par me présenter et présenter ma recherche, puis la manière dont allait se passer l'entretien, sa durée moyenne (une heure et demi), les différents types de questions, l'anonymat, la restitution. Puis, je déroulais les questions selon le questionnaire présenté ci-dessus.

J'attendais d'être certaine d'avoir compris leur posture et leurs arguments, de pouvoir les classer, pour passer à la question suivante. Si je savais qu'ils avaient du temps, je leur laissais le temps de s'exprimer plus longuement sur des aspects qu'ils choisissaient. Si le temps nous était compté, je pouvais les inciter à synthétiser leurs réponses ou j'éliminais certaines réponses de mon questionnaire, par ordre de priorité. C'est ce qui explique que pour certains, je n'ai pas toutes les réponses. Cela vient aussi du fait que certains n'ont pas souhaité ou pu répondre. Ils avaient droit à des *jokers* !

J'ai aussi consulté des éléments écrits : articles, conférences, documentaires, sites internet, essentiellement des travaux de vulgarisation, rarement de publications de recherche dans des revues de physique à comité de lecture (car elles laissent rarement transparaître les *themata*).

L'idéal pour découvrir les *themata* est la discussion informelle comme les situations d'entretien. Les *themata* relèvent d'un fond parfois inconscient, ils surgissent donc plus facilement lors de réponses spontanées. Argumenter avec les interviewés permet aussi de dépasser les réponses purement techniques et d'aller creuser plus profondément dans les couches thématiques (notamment sur certaines questions techniques particulières en rapport avec la mécanique quantique).. C'est donc un aller-retour entre les réponses spontanées et l'argumentation poussée qui permet de mettre à jour les *themata*.

Nous allons maintenant expliciter comment nous avons élaboré les questions posées aux physiciens dans les entretiens, ces questions supposées déclencher des réponses révélatrices de *themata*.

Choix des questions du questionnaire

La construction des questions posées aux physiciens s'est faite afin de révéler leurs adhésions thématiques. Elle s'est élaborée par étapes. Nous avons testé un premier questionnaire auprès de quelques physiciens, ceux dans le tableau qui ont peu de réponses (car beaucoup de questions se sont développées plus tard). Puis, nous avons repris les questions en enlevant celles qui ne se sont pas révélées pertinentes, et en ajoutant certaines qui se sont dévoilées lors

de discussions sur des points particulièrement intéressants lors des premiers entretiens. Celles qui ne se sont pas révélées pertinentes sont celles qui furent mal comprises, ou celles dont les réponses n'apportaient manifestement pas d'informations utiles dans le cadre de la recherche (par exemple, des questions sur la direction ou la continuité du temps). Certaines questions se sont révélées non pertinentes : formulation peu claire, redondance, réponses trop standard, etc. Par exemple, « les électrons, quarks, et particules élémentaires existent-ils ? » Cette question s'est révélée stérile. Comment définir, « exister » ?

D'autres se sont immiscées au fur et à mesure des questionnaires, émergeant d'elles mêmes, comme élément de cristallisation d'avis opposés ou surprenants. Ainsi, une question sur le déterminisme de l'univers dans son ensemble, qui venait compléter celle sur l'aléatoire de la désintégration radioactive d'un atome.

Voici la liste des questions des premiers entretiens qui n'ont pas été retenues

- La science que vous pratiquez correspond-elle à l'image que vous avez pu avoir dans votre éducation/enseignement ?
- Cherchez vous à trouver une réponse aux apparentes contradictions de la mécanique quantique ou bien vous satisfaites-vous de son opérationnalité pure, du langage des équations ?
- Pensez vous que dans toute recherche la place de l'observateur soit à prendre en compte ?
- Comment voyez-vous l'espace ? Vide ? Empli ?
- Pour vous, le temps existe-t-il ? Quelle est sa direction ? Est-il continu ?
- Les lois naturelles ont-elles pour vous une finalité ?
- Comment vous représentez-vous la matière ?

Et certaines questions plus spécifiques pour les physiciens indiens

- L'éducation indienne des sciences vous semble-t-elle différente de l'éducation scientifique en France ? Si oui, de quel point de vue ?
- Pensez vous que la science indienne moderne ait une spécificité ?
- Pensez vous que l'on puisse distinguer une « physique » de tradition indienne, aux spécificités nettes ?
- Comment d'après vous les sages de l'Inde antique ont-ils développé leurs connaissances sur la composition de la matière ?

Certaines questions figurent dans les entretiens mais n'ont pas servi à l'analyse présente dans la thèse. Il s'agit par exemple de la question sur les paramètres dans les expériences : « en modifiez vous plusieurs simultanément, ou bien un seul à la fois ? » Cette question devait servir à un thème complexité/simplicité qui n'a finalement pas été retenu, car il était peu clair. Par ailleurs, à cette question la réponse était systématiquement « un seul à la fois, à cause de contraintes expérimentales », donc la question envisagée était peu exploitable en l'état.

Concernant le thème réalisme/non réalisme, nous avons posé une question initialement sur l'existence des quarks et des électrons (existent-ils indépendamment ou sont-ils conceptuels ?), mais nous nous sommes rendus compte que la réponse était systématiquement « oui » et que cette réponse n'était pas relative à une croyance, qu'elle reposait sur une ambiguïté de vocabulaire, au sujet de la notion d'existence. On pourrait penser que la physique quantique ne traite apparemment pas des « objets -en- soi » mais des représentations conceptuelles, symboliques ou mathématiques de ces objets. Électrons, quarks, et leurs composés ne peuvent pas être considérés comme des entités " qui existent en soi ". Cela ne veut pas dire cependant, que la réalité est purement une construction mentale. Nous n'avons pas trouvé de question plus pertinente à poser pour déceler le réalisme des physiciens. Et d'ailleurs il me semble, mais pour le coup, ça ne reste qu'une supposition, qu'être physicien implique une forme de réalisme. C'est un objet de recherche à part entière !

Concernant l'élaboration des questions autour de la physique quantique, je me suis inspirée de certaines enquêtes menées par Sommer, Schlosshauer, M., Kofler, par J., & Zeilinger (S,K,Z) et par Norsen et Nelson, afin de pouvoir m'en servir pour une éventuelle comparaison (les références des articles où sont proposées ces enquêtes apparaissent dans la bibliographie de la thèse). Comme il est évoqué dans ces articles, chacune de ces trois enquêtes a été élaborée lors d'une conférence portant sur la mécanique quantique, chacune de ces conférences étant favorable à une interprétation plus qu'une autre. Ainsi l'enquête de Schlosshauer, Kofler et Zeilinger- SKZ a été menée lors d'une conférence favorable à l'interprétation d'Everett ; celle de Norsen et Nelson, lors d'une conférence favorable à l'interprétation de Bohm. Seule celle de Sommer n'affiche pas d'affinité particulière (menée lors d'une conférence sur la philosophie de la mécanique quantique, en Allemagne). A titre d'exemple, dans le tableau 4 se trouve un exemple des réponses apportées par les participants à ces enquêtes au sujet de l'observateur en mécanique quantique.

| Auteurs de l'enquête (et interprétation privilégiée dans la conférence) : | Schlosshauer, Kofler, and Zeilinger (Copenhague + Everett) | Sommer (pas de préférence) | Norsen, Nelson (Bohm) |
|---|--|----------------------------|-----------------------|
| L'observateur : | | | |
| Est un système (quantique) complexe | 39 | 33 | 54 |
| Ne devrait pas jouer de rôle fondamental, quoi qu'il en soit | 21 | 6 | 65 |
| Joue un rôle fondamental dans l'application du formalisme mais ne joue pas de rôle physique distincte | 55 | 50 | 24 |
| Joue un rôle physique distinct (par exemple effondrement de la fonction d'onde par la conscience) | 6 | 17 | 1 |

Tableau 4: Résultats de l'enquête de Sommer, Schlosshauer, M., Kofler, J., & Zeilinger (S,K,Z) et Norsen et Nelson, concernant le rôle de l'observateur en physique quantique.

Dans l'enquête de Sommer, les participants reconnaissent un statut spécial de l'observateur. Un tiers voient en lui un système quantique complexe et les deux tiers considèrent qu'il est important pour l'application du formalisme ou même pour son rôle physique distinct. Probablement, estime Sommer, le problème très discuté du corps-esprit en mécanique quantique, qui a été vivement débattu lors de la conférence, a joué un rôle dans cette question. S,K,Z, écrivent dans leur article qu'« Il est remarquable que la majorité des personnes interrogées semblent croire que l'observateur n'est pas un système quantique complexe. En outre, très peu mais ce n'est pas négligeable, adhèrent à l'idée que l'observateur joue un rôle physique distinct (par exemple, par un effondrement de la fonction d'onde induite par la conscience). Compte tenu de la relativement forte adhésion à l'interprétation de Copenhague, cette constatation montre que l'adhésion à l'interprétation de Copenhague n'implique pas nécessairement une croyance en un rôle fondamental pour la conscience (comme le suggèrent certaines analyses grand public). »

Que peut-on tirer de ces 3 enquêtes au sujet du rôle de l'observateur ? Il me semble que ces 3 enquêtes n'apportent que peu d'informations, étant donné que la définition de ce qu'est l'« observateur » n'est pas claire dans la formulation des questions. Qu'entend-on par « observateur » : inclue-t-on l'appareil de mesure ? Considère-t-on l'observateur matériel, son corps physique, ou bien inclue-t-on son mental ou sa conscience ? Avec une telle ambiguïté, les réponses à cette question, à mon avis n'apportent pas grand-chose. Par ailleurs, les réponses aussi sont floues. Par exemple, ceux qui sont classés dans la case d (l'observateur joue un rôle physique par exemple effondrement de la fonction d'onde par la conscience), peuvent pour certains adhérer au rôle physique joué par l'observateur sans pour autant

soutenir que la conscience joue un rôle. Il faudrait donc deux cases différentes. J'ai commencé par proposer les mêmes questions-réponses aux physiciens pour me rendre compte assez rapidement que la question et les réponses suggérées n'étaient pas pertinentes et peu compréhensibles par les physiciens. Par exemple la physicienne S.P dit « je vois pas trop ce que l'on met derrière les mots « l'observateur est un système (quantique) complexe ». J'ai alors décidé de ne plus poser cette question.

Les trois enquêtes de (Schlosshauer, Kofler, and Zeilinger 2013), (Sommer, 2013) et (Norsen and Nelson 2013) comportaient aussi cette question : « Que nous apprend l'observation expérimentale des violations des inégalités de Bell ? » avec 5 types de réponses possibles. Nous nous sommes inspirés de cette question pour la poser nous-mêmes dans le cadre de notre enquête, afin de pouvoir éventuellement comparer les réponses. Comme on peut le voir, dans le tableau 4, les réponses étaient très partagées dans les 3 enquêtes, et cela est dû notamment à la différence de thématique (et donc de public) assistant à chaque conférence.

| Réponses proposées | Enquête de Schlosshauer, Kofler, and Zeilinger (conférence favorable à l'interprétation d'Everett) | Enquête de Sommer Conférence "Philosophy of Quantum Mechanics" | Enquête de Norsen et Nelson (conférence favorable à l'interprétation de Bohm) |
|--|--|--|---|
| Le réalisme local est intenable | 64 | 11 | 34 |
| Action à distance dans le monde physique | 12 | 17 | 18 |
| Des notions de non-localité | 36 | 67 | 74 |
| Des mesures non effectuées n'ont pas de résultats | 52 | 0 | 3 |
| N'anticipons pas. Prenons en compte les failles de manière plus sérieuse | 6 | 17 | 0 |

Tableau 5 : Mise en perspective des réponses dans le cadre des différentes enquêtes en 2013 (voir références ci-dessus) par rapport à la question posée sur le caractère aléatoire des événements quantiques : « Que nous apprend l'observation expérimentale des violations des inégalités de Bell ? »

Annexe 5. Interpretations of quantum physics: its history and concepts through the use of Themata

Cette annexe est une sélection de passages d'un article en cours d'écriture, qui a été proposé à la revue *Science, technology and human values*, et qui nécessite encore des modifications. Il est en cours de réécriture. Il a été co-écrit avec Adrien Vila Valls, du laboratoire S2HEP, de l'Université Lyon 1 Claude Bernard. Nous avons sélectionné ici uniquement les passages qui concernent les options thématiques associées, historiquement, à chaque interprétation de la théorie quantique auxquelles nous avons fait référence dans le corps de thèse.

Résumé de l'article (en anglais)

In this paper, we present the epistemological postures adopted by physicists in the different interpretations of quantum mechanics, using the concept of themata first proposed by G.Holton in 1963. Themata are opposed concepts presented as pairs of ontological beliefs, impossible to prove and usually implicit such as « determinism versus indeterminism » or « continuity versus discontinuity ». In general, interpretations of quantum mechanics have been more commonly studied from a philosophical or historical perspective, rather than using a psycho-sociological approach. The purpose of this paper is to make understand why scientists adopt a particular interpretation of quantum mechanics in order to come to terms with its evident paradoxes, depending on their personal backgrounds. The paper also proposes a synthetic classification of the themata supported by the main interpretations of quantum mechanics.

Thema 1: Determinism / Indeterminism

At the beginning of 19th century, Laplace formulated what would become one of the most famous presentations of the concept of determinism : “An intelligence which at any given moment knew all the forces by which nature is animated and the respective situation of the beings who compose it, if moreover it were vast enough to submit these data to analysis , would embrace in the same formula the movements of the greatest bodies of the universe and those of the lightest atom : nothing would be uncertain for it, and the future like the past would be present to its eyes »¹ (Laplace, 1814, 2009). A simple explanation of determinism is that the same causes produce the same effects: every modification is determined by the initial conditions and the forces acting on it. When he proposed his probabilistic interpretation of the wave function in 1926, M. Born explicitly challenged determinism at an ontological level:

“Here the whole problem of determinism comes up. From the standpoint of our quantum mechanics there is no quantity which in any individual case causally fixes the consequence of the collision; but also experimentally we have so far no reason to believe that there are some inner properties of the atom which conditions a definite outcome for the collision. Ought we to hope later to discover such properties...and determine them in individual cases? Or ought we to believe that the agreement of theory and experiment -- as to the impossibility of prescribing conditions for a causal evolution -- is a pre-established harmony founded on the nonexistence of such conditions? I myself am inclined to give up

¹« Une intelligence qui, à un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était suffisamment vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome ; rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux»

determinism in the world of atoms "(Born, 1926). In a letter to M. Born in the same year, A. Einstein stated his disagreement in these words:

"Quantum mechanics is certainly imposing. But an inner voice tells me that it is not yet the real thing. The theory says a lot, but does not really bring us any closer to the secret of the "old one." I, at any rate, am convinced that *He* does not throw dice" (Einstein, 1926, 1971, 91).

Among the founding fathers of quantum mechanics, only L. de Broglie and E. Schrödinger followed Einstein in his refusal to give up determinism. The founders of today's mainstream approaches to quantum physics (pragmatist approaches), the members of the powerful Copenhagen-Göttingen axis centered around two main figures, M. Born and N. Bohr, were by contrast enthusiastic champions of indeterminism.

How does quantum theory challenge determinism? There is a strong element of determinism in the deployment of Schrödinger's equation, which governs the evolution of the state of the system in the absence of measurement. Between two measurements, the system evolves linearly depending of its interactions, meaning that the evolution of a system between two measurements is deterministic. What happens during the act of measurement? The orthodox interpretation of quantum mechanics - usually presented in textbooks - suggests that, when measured, the system undergoes a spontaneous and probabilistic evolution (see below "the measurement problem "). Depending on the experimental result of this measurement, the state is projected - or 'reduced' - into a vector corresponding to the result of the measurement. Thus, the measurement disturbs the system unpredictably. The orthodox interpretation says that these probabilistic predictions cannot in principle be replaced: nothing can predict better than the quantum formalism which measurements will actually be observed.

Thus, the orthodox² interpretation of quantum mechanics recognizes two different evolutions of a quantum system:

- 1 . A temporal evolution, according to a deterministic equation, called the Schrödinger equation.
- 2 . An indeterminist and sudden evolution that takes place during a measurement, based on probabilities.

How can one interpret this ambivalence? In the orthodox interpretation, quantum probabilities reflect not only human ignorance - as it is the case in statistical mechanics - but stress the fundamentally indeterministic nature of the system. The orthodox interpretation considers that since the predictions can only be probabilistic, the world - at least the microscopic quantum world - is fundamentally indeterminist³. In 1932, J. Von Neumann, demonstrated mathematically that no properties envisaged by M. Born to determine the outcome of an experiment - which would later be called " hidden variables"- could restore determinism in the frame of quantum mechanics. But in 1951, D. Bohm revived and completed an old determinism hidden variables theory developed in 1927 by L. de Broglie, and named by him

² We separate in this text, when necessary, two related interpretations of quantum physics which have several points in common, but which have however important differences, and which are often put together too quickly by including them both under the same name of the " Copenhagen " or " orthodox " interpretation. As these two expressions are often used, we use them ourselves, but in a different sense. By "Copenhagen" we indicate interpretations inspired by Bohr's approach to the question of measurement while by "orthodox" we indicate approaches which are more usually used in textbooks. We let the reader refer to the appendix on the problem of measurement where he will find the explanations of the differences between these approaches. When, finally, for a given point, it is not useful to distinguish clearly these two approaches, we suggest combining them under the term "phenomenalist ". Physicists or philosophers who could be classified under these two classes of approaches can have substantially different views.

³ In statistical mechanics, probabilities reflect only the misunderstanding of the exact states of the individual systems; the theory does not claim to be a complete description of the system. Quantum mechanics interpreted in an orthodox way aims to be on the contrary a complete description, where the probabilities reflect a fundamental randomness.

"pilot-wave theory"⁴. This was a glaring counter example to J. Von Neumann's demonstration. This interpretation is deterministic and probability predictions are only a reflection of subjective ignorance vis-à-vis the values of hidden variables. The probabilities are interpreted through epistemology but not by more accurate predictions (Boyer, 2011). In the 1950, some Marxist physicists (like the French physicist J-P. Vigièr) were happy to follow D. Bohm (who was himself in sympathy with this philosophy) in the elaboration of pilot-wave-like theory which they considered as more conform with the spirit of dialectical materialism. In 1964, the physicist J. Bell established that these hidden-variables must be non-local.

In 1957, H. Everett proposed a completely different way to restore a kind of universal determinism - without resorting to hidden variables – with his Relative State Theory, which in Everett's term "in a certain sense bridges the positions of Einstein and Bohr, since the complete theory is quite objective and deterministic...and yet on the subjective level...it is probabilistic in the strong sense that there is no way for observers to make any predictions better than the limitations imposed by the uncertainty principle" (In Dewitt and Graham (1973, p. 117-134)).

A more radical and explicit defense of Everett insights was championed by Brice de Witt who coined the name "Many Worlds Interpretation" (MWI). The MWI interpretation is deterministic in the sense that the whole universe (or rather the multiverse) is described by Schrodinger's wave function without collapse. However, because of the entanglement between observers and the surrounding objects, observers who follow the branching of the wave function have experiences they apprehend as inherently probabilistic at a subjective level.

Other physicists think that the Schrodinger equations should be modified in order to become non-linear and stochastic. Among them, R. Penrose, for example has written "I think that it would be surprising if quantum theory did not undergo a profound change in the future - towards something in which this linearity would be only an approximation" (Penrose, 1989, in Bricmont, 2000). The more disputed version of this kind of approach is the Ghirardi–Rimini–Weber theory (GRW Theory⁵).

Debate over the question of determinism constituted one of the first discussions on the foundations of quantum mechanics in the late 1920s and early 1930s. It turned out over the years that the point that really crystallized the debate was actually the question of realism (see below). However, determinism remains present in the work of many physicists using quantum mechanics every day (Schlosshauer survey, 2013).

Thema 2: subjectivity / objectivity

⁴ The theory of Bohm, called "pilot wave", doesn't propose a complete description of the state of the system. Such a description is given at the same moment by the wave function and by the positions of all the particles: for a system of n particles, the state is defined by Q , the wave function and (q_1, \dots, q_n) which denote the positions of the n particles. They are the hidden "variables" of the theory. In this theory, the wave function evolves according to the equation of Schrödinger, but it drives the evolution of the particles, in the sense that the speed of each particle is a function determined by the function and the positions of the other particles. (Bricmont, 2000, 33)

⁵ "GRW" refers to the names of its authors (G.C. Ghirardi, H. Rimini, and T. Weber). It is a stochastic theory, where the wave function is reduced randomly, with a low probability for a tiny system, at any time. But with a large number of particles, as in a measuring device, the probability of a reduction becomes correspondingly high.

In classical macroscopic physics, the material world should be independent of observers. This is also one of the principles explicitly stated by R. Descartes in the 17th century with the separation between the knower (*res cogitans*) and the physical world (*res extansia*). Separating the observer from his observations can lead to universal laws, valid for any observer, and objectivity. In classical physics, the notion of an observer exists, but he has no special status: theories are not supposed to refer to him. For example, P.S. Laplace in the 19th century developed a theory of the formation of the solar system that refers to a time when there was still no human observer.

Why does quantum mechanics challenge objectivity in its classical form? We showed that, according to the orthodox interpretation, measurement fundamentally disrupts the temporal evolution of the system. So, what causes the projection of the system state vector? Are the properties of an object defined before and independently of the measurement or does it acquire them with the measurement? According to W. Heisenberg, it is the observation that defines the properties of the quantum system. He speaks of the projection of the wave function as being induced by the observer:

“The observer himself makes the choice, because it is only in the moment where the observation is made that the « choice » has become a physical reality“, (Heisenberg, 1928).

For N. Bohr, the kind of properties one can attribute to a system depends fundamentally on the experimental conditions, including the conditions of measurement. Thus, one cannot speak of the position of a quantum system in general. Characteristics of objects are dependent on the context of measurement and depend therefore on the experimental project of the physicist. To be sure, N. Bohr did not reject all kinds of objectivity: a measurement outcome can be publicly communicated and does not depend of the idiosyncrasies of one physicist. Nevertheless reference to the human collectivity and its investigative purposes as well as its capacity to communicate seem to be unavoidable in the philosophy of Bohr.

Starting at the end of the 1920s, N. Bohr, W. Heisenberg and others promoted the idea that one could not ignore the fundamental role of the subject in quantum mechanics. Opting for a different perspective, E.Schrödinger spoke in 1930 of a mutual action between subject and object in a quantum measurement, "provided that one makes clear what is meant by subjects in this case: nothing but a fragment of the material world that may include the body of the experimenter" (Schrodinger, 1950, 1996, 27).

One may wonder whether there are not different degrees of objectivity. French physicist and philosopher, B. d'Espagnat's (1994) defines statements of quantum physics as " weakly objective " as opposed to the "strongly objective" statements of classical physics. For him, "strongly objective" means that the properties of a system can be defined even in the absence of an observer, such as the existence of the moon which does not depend on a night-time viewer. "Weakly objective" means that the properties of a system can only be established with the observation, but these properties are the same for any observer. To understand such a position, we can refer to J. Locke's theory of qualities. The latter distinguished secondary qualities (such as the color or taste of an object, which depend not only on the intrinsic properties of the object but also on the sensory systems of the observer) and primary qualities (which are intrinsic to the object). Saying that quantum mechanics is weakly objective is a way to move the cursor of this thema to an intermediate position. For B. d'Espagnat, in order to properly understand quantum theory, we have no choice but to consider all the properties that we attribute to physical objects (such as position, energy, etc.) as secondary qualities, connected to an observer. Human beings may agree to say that an object is red, although the color is not in the object itself. Similarly, according to this understanding of quantum mechanics, the position of an object is not an intrinsic property but just the relationship between the object and an observer.

One of the main questions raised is the role of consciousness in the physical world. Does modern science require a dissociation between the mind and the physical world, or, in other words, between matter and consciousness? Is mind a product of matter or vice versa? For example, the physicist R. Feynman believes that all reality, including mind and consciousness are made of atoms (Feynman, 1970). This belief is a form of physicalism⁶, in which each event has a material origin to which it can be traced and where subjectivity, or any form of consciousness, is a product, a correlate, or an instantiation of a physical process. From this perspective, observers are physical systems like others to which every fundamental law must apply. But then, why does it seem so difficult to state the laws of quantum mechanics without reference, at least implicitly, to an observer?

J. Von Neumann's *chain* is the technical basis of the debate around the role of subjectivity in quantum mechanics. In 1932, he noted that the measurement process itself can also be analyzed using the approach of quantum mechanics (Esfeld, 1999). That is to say that one can assign a wave function to the complete "microscopic object + meter" system! After interaction, these two subsystems can be considered to be in a state of superposition, and this state can be measured in turn using a second device. In this case we can determine a wave function to describe the "microscopic object + meter 1+ meter 2 " system. Again, the system in its entirety can be considered to be in a state of superposition. This process can be continued with a third device, and so on, initiating an infinite regression. In the end, however, an observer will observe macroscopic objects in certain states. When and how did the reduction of the state vector take place? The role of consciousness in the measurement process has been more explicitly studied by the Nobel Prize Physicist E. Wigner. In the early 1960s, he proposed the thought experiment involving a "friend", similar to the one proposed by E. Schrödinger using a cat, in 1935. In this experiment, a quantum object in a state of superposition between two states (A and B) is observed by a friend. Following Von Neumann's chain, the friend can then be considered as being in a state of superposition with the quantum object. If now Wigner asked the friend what he observes, he will answer 'the object is in state A (or B)'. If Wigner asks his friend what he observed before he asked the question, the friend would say: "I've already told you, I saw the object in state A (or B)." In other words, from the point of view of the friend, the quantum object and himself were already in a particular determined state before Wigner observed them. Wigner comments:

"If [an] atom is replaced by a conscious being, the wave function [in a state of superposition] seems absurd because it implies that my friend was in a [superposed state] before answering my question. It follows that being with a conscience must have a different role in quantum mechanics than an inanimate measuring device [...] (Wigner, 1961)⁷ In his later years Wigner changed his position to the opposite point of view, in order to avoid solipsism and giving an excessive role to consciousness (Mehra, 1995, p. 593). Wigner considered it to be necessary to admit state reductions independently of an observer's consciousness, and made a concrete suggestion for an amendment of the Schrödinger equation intended to describe a physical process of state reduction (Mehra, 1995. pp. 73, 230). Wigner now considered that a state reduction occurred as an *objective* event in the physical realm before the von Neumann chain reaches the consciousness of an observer (Mehra, 1995,pp. 75-

⁶ See D. Chalmers, *The conscious mind*, Oxford University Press, 1997, p.32-42 for further clarification about the link between physicalism and supervenience. In particular, Chalmers distinguishes two kind of supervenience: logical supervenience and natural supervenience. He claims that only a logical supervenience of mind upon physics must be assimilated to real physicalism. However, so far as quantum mechanics is concerned, we can avoid worrying about this distinction and use "physicalism" for both meanings of supervenience. Readers acquainted with the philosophy of mind have therefore to understand our use of the word "physicalism" in a broader sense than in the usual literature.

⁷ The early Wigner thought that human spirit was subject to different laws than those that applied to non-thinking matter (Klein, 1996, 92).

77; 242-243; Esfeld, 1999). But this does not explain why the reduction appears. The problem remains. In order to describe the different thematic adhesions about the issue of the consciousness, it may be useful to distinguish the notion of « observer » from those of the « observer's consciousness ». When one speaks about "the role of the observer in quantum mechanics", is one speaking about the observer's brain, considered as a material system, or is one referring to some immaterial consciousness? E. Schrödinger claimed that: 'The observing mind is not a physical system and cannot interact with any physical system' (Schrödinger, 1950, 1992, 72). He thought moreover that an observer's consciousness has nothing to do in quantum mechanics, while an observer's brain might play some role. In this latter case, one can suppose that this role corresponds to a regular physical process that has nothing special or fundamental about it. Instead, E. Bauer and F. London argued for an irreducible role of the consciousness by claiming that the collapse of the wave function is caused by the observer's faculty for introspection, which selects one state out of the different superposed states. "The observer has a completely different point of view: for there is only an object S and a device U which belong to the outside world, and that he can call "objective". By contrast, he has a relation of a particular nature with himself: he has at his disposal a characteristic and very familiar faculty which we call the "faculty of introspection". He can immediately give a report of his own state. It is by virtue of this immanent knowledge that he can create his own objectivity for himself."⁸ (London & Bauer, 1939).

Some physicists influenced by oriental ways of thinking like the Vedanta interpret the collapse of the wave function as induced by material spirit (the mind or the brain) whereas immaterial consciousness is associated with the superposed states. For instance, A. Goswami writes : "I couldn't give up the idea that consciousness made the wave function collapse" (Goswami, 2000, 87). He distinguishes a universal consciousness for which matter is an epiphenomena and which is prior to experience "without subject and object" and an individual consciousness, meaning the spirit which dissociate the subject and the object and which distinguishes one from the plurality of states. It is noteworthy that the majority of non-philosopher physicists sidestep this question, and consider it as irrelevant for physics. Yet, this question arises when one want to know what quantum mechanics is telling us about the different states of the systems.

One of the strongest motivations behind the search for alternative interpretations of quantum mechanics is to restore a strong sense of objectivity. The pilot -wave theory has, for example, all the features of classical objectivity. For GRW theories and MWI, the universal wave function is also an objective representation of reality. In the particular case of MWI, different observers, however, are confined to their own "branch" of the wave function in which they are located, and therefore have no epistemic access to other branches. But if such an observer knew the initial conditions of the universe (or rather the multiverse), he or she could in principle know the objective state of the whole.

Thema 4: Realism / phenomenalis

Quantum mechanics was developed during the period of the Vienna Circle and the establishment of logical positivism as a central approach behind philosophy of science, all in a philosophical climate impregnated with German idealism. If Kantian or neo-Kantian idealism and positivism differ radically on certain points, however, they are both opposed to a realist conception of science. The term "phenomenalism " can be appropriately used to describe

⁸ L'observateur a un point de vue complètement différent : pour lui il y a seulement un objet S et un appareil U qui appartiennent au monde extérieur, et qu'il peut appeler « objectifs ». Par contraste, il a avec lui-même une relation d'un caractère particulier : il a à sa disposition une faculté caractéristique et très familière que l'on nomme la « faculté d'introspection ». Il peut immédiatement donner un compte rendu de son propre état. C'est en vertu de cette connaissance immanente qu'il peut créer pour lui-même sa propre objectivité

these two currents (d'Espagnat, 1994). Even if few of the founding fathers of quantum mechanics identified fully with these epistemological currents (only P.Jordan claimed to adopt a positivist stand) one can clearly see the influence of this type of philosophy in the writings of the Copenhagen-Göttingen members. For example W. Heisenberg uses an operationalist definition of physical quantities very similar to the verificationist criterion of R. Carnap (a leading exponent of logical positivism), according to which it is meaningful to talk about the value of a quantity only if one can measure it, at least in principle. This kind of position clearly raises the question of scientific realism. Scientific realism is an epistemological stance claiming that 1) there is a reality outside the mind and the human senses (i.e. there is a so-called "independent reality"), and 2) science can provide an epistemic grasp on this reality. Narrowing the sphere of application of the term "reality" to the field of investigation of human experience, the positivist position challenges, at least implicitly, condition 1) of scientific realism. Each realistic perspective involves the belief that we can construct a representation of reality based on our experience. "Realism" implies the notion of reality itself, that is to say a reality conceived as totally independent of our ways of knowing. For example, trajectory, velocity, electric charge or some other "state" of an object, viewed from a "realistic" perspective exists even in the absence of any measurement.

Influenced by the positivism of E.Mach in his youth, A.Einstein was a convinced realist who virulently opposed this conception of science later in his life:

“In these days the subjective and positivist viewpoint dominates in a most excessive manner. The need for conceiving nature as an objective reality is declared to be an obsolete prejudice, and thus a virtue is made of the necessity of quantum theory. Men are just as subject to suggestion as horses, and each epoch is dominated by a fashion, and the majority do not even see the tyrant who dominates them.” (Einstein, 1960, 23)

Einstein assumed that "there is something like the 'real state' of a physical system, which exists objectively, independently of any observation or measurement, and can in principle be described by means of physics". "I am not ashamed to put the concept of the real state of a system" in the center of my meditation" (Einstein, *in* George, 1953, 12). He established a criterion of reality : “If, without in any way disturbing a system, we can predict with certainty (i.e., with probability equal to unity) the value of a physical quantity, then there exists an element of physical reality corresponding to this physical quantity”(Einstein, Podolsky, Rosen, 1935, 777). He then devised a thought experiment (EPR experiment, see Appendix for details) in which it appeared possible to determine the value of a physical quantity without disrupting the corresponding system, and therefore concluded that there was indeed an element of reality corresponding to this quantity. However, Einstein noted, quantum mechanics is silent concerning this quantity until the observer becomes aware of it. This meant, for Einstein, quantum mechanics is not a complete description of reality.

Bohr's response to this article consisted essentially in rejecting Einstein's criterion of reality. For N.Bohr, there was no sense in speaking about a reality independently of the experimental resources used to determine it. N.Bohr believed that the spatio-temporal concepts and classical causal categories belonged to common language. He thus adopted a position close to the neo-Kantian current: these concepts are required for an objective description (in the weak sense) and observation and measurement instruments are constitutive of phenomena. Many texts written by the members of the Copenhagen-Göttingen group suggest that, according to them, there is no sense in talking about the value of a physical quantity unless an instrumental means for measuring it is available. In quantum mechanics, the state attributed to the system must be able to answer all the physical questions posed about it. In other words, the report contains all the information it is possible to obtain concerning a physical system. Following

N. Bohr, many physicists believed that quantum mechanics does not describe a physical reality independent of our way of investigation. It simply reports the results of measurements. This position is clearly expressed by N.Bohr when he says: " Strictly speaking, the mathematical formalism of quantum mechanics merely offers rules of calculation for the deduction of expectations about observations obtained under well-defined classical concepts" (Bohr, 1963, 60). This approach can be compared to instrumentalism: quantum mechanics is a simple tool for predicting observable phenomena which are results of macroscopic measurements. J. Bricmont, a contemporary Belgian physicist, perfectly illustrates this conception (of which he doesn't approve) when he says : " we must not forget that in quantum mechanics there is neither boson or fermion, nor field, nor spin or anything ... There are no properties. There are simply if taken literally, recipes that tell you what happens when you do laboratory manipulations"⁹(Bricmont, 2000). This refusal to grant any ontological weight to quantum mechanics is now fully and explicitly assumed by philosophers such as M. Bitbol C. Fuch or A. Peres. For exemple, M. Bitbol's 'l'aveuglante proximité du réel' (1999) prevents us from describing reality correctly since we are so intimately implicated in it.

This radical opposition between these two positions found the contemporary debate between proponents of phenomenalist attitudes and interpretations designed explicitly to restore physical realism (hidden variable theories, GRW, MWI). Some physicists or philosophers, like B. D'Espagnat, adopt an intermediate position between realism and phenomenism. His « veiled reality » (« réel voilé ») proposes two levels of reality: an empirical reality, which refers to all phenomena accessible through human experience and reality in itself, which exists independently of our existence. D'Espagnat believes that the role of physics in general and quantum mechanics in particular is primarily to investigate empirical reality. In other words, electrons, quarks and their derivatives cannot be considered as entities "that exist independently", but as experimental human constructions. In fact, beyond the realistic/phenomenalist opposition, he argues for what he calls «open realism», a view that considers that "there is something whose existence does not depend on thought" without deciding about its nature: "The laws of physics do not depend entirely on us, which means that they depend on something else"¹⁰(d'Espagnat, 2006, 56). However, he does not reject the possibility that fundamental equations of physics reflect some structures of an independent reality. Thus, for d'Espagnat independent reality is not completely inaccessible, it is simply veiled.

In general, scientists and philosophers adhere to some kind of realism (Philpapers, 2009)¹¹. As A.Einstein mischievously noted : "All physicists firmly hold to this view on the reality of the external world, except when they start talking about the foundations of quantum mechanics".

Thema 4 : Continuity / discontinuity

The discrete nature of quantum theory is the aspect that attracted most attention between the introduction of Planck's constant in 1900 and the formulation of quantum mechanics by W. Heisenberg in 1925. However, in 1926, E. Schrödinger and W. Heisenberg proposed very different worldviews for the same theory:

- the first considered quantum phenomena in the form of waves;

⁹ « Il ne faut pas oublier qu'en mécanique quantique il n'y a ni boson, ni fermion, ni champ, ni spin, ni quoi que ce soit... Il n'y a aucune propriété. Il y a simplement, si on la prend littéralement, des recettes qui vous disent ce qui se passe lorsque vous faites des manipulations en laboratoire — point à la ligne »

¹⁰ « Il y a quelque chose dont l'existence ne dépend pas de la pensée» sans se prononcer davantage sur sa nature (d'Espagnat, 2006) : « les lois de la physique ne dépendent pas totalement de nous, ce qui signifie qu'elles dépendent de quelque chose ».

¹¹ L'enquête de philpapers (op.cit) posait la question : réalisme scientifique ou non ? Oui, 75,1%, autre 13,3%, anti-réalisme scientifique 11,6%.

- the second insisted on the discontinuous nature of the phenomena and the concept of particle

In quantum mechanics, the state of a physical system can be represented by a continuous wave function while the result of certain measurements cannot take continuous values but only those in a discrete set. One can also distinguish another type of discontinuity related to the evolution of the state during the measurement (reduction of the wave packet onto a singular projection).

In classical physics, the determinism and continuity hypothesis has its basis in the fact that the laws are expressed by differential equations. The same causes produce the same effects (deterministic), and every movement is continuous. This is not surprising: the world around us has all the appearance of continuity, if one looks at a landscape at one moment, one expects to find the same or a very similar landscape a moment later.

Bohr's atomic model proposed discontinuity of motion: electrons cannot take up all energy states only discrete values. How does an electron jump from one orbit to another? It disappears from one orbit and reappears in the other, never traveling through the space between the two orbits. Is there nothing between the two orbits? "Curious physics, which is all about states and occults transitions" noted E. Schrödinger (1926). "If all this damned quantum jumping were really to stay, I should be sorry I ever got involved with quantum theory" (Heisenberg, in Pauli, 1955, pp. 12-29). When E. Schrödinger enunciated his wave equation, he assumed that, thanks to the continuous aspect of the equation, he could finally eliminate discontinuity from quantum theories. Heisenberg however immediately understood that this hope was vain: the explanation of blackbody radiation, to take an example, required the introduction of a fundamental discontinuity.

Physicist and historian of science G. Holton described W. Heisenberg's algebraic and matrix approach, which is discrete, and gives place to corpuscles. He compared this approach with that of Schrödinger's: analytic, continuous, describing waves rather than corpuscles (Holton, 1995, 454). These differences also reflect the opposition between the young Heisenberg and the already well established Schrödinger. It would certainly be very interesting to study the distribution of these two points of view in the scientific community in the twentieth century. M. Born interpreted the wave function in a probabilistic way, so that the continuous representation of Schrödinger's wave mechanics could integrate the discreteness of quantum states: the wave gave the probability of quantum objects in different states, which could be discrete.

If the discontinuous aspect of quantum physics troubled physicists from 1900 until the late 1920s, it is now no longer a matter of great debate. On the one hand, all quantities of quantum mechanics do not have discrete values (for example, a free particle has a continuous spectrum of states). Furthermore, a discontinuity appears in the form of any serious interpretation of quantum mechanics. In Bohm's theory, which is probably the most continuous interpretation, ontology is represented by particles, discontinuous entities, and even though these entities have continuous spectra states, in some circumstances they can only be observed in discrete states. In the GRW and MWI theories, the different states that can be determined for a quantum object are the same as in the standard theory. Everett and Bohm's theories however avoid the discontinuity due to the reduction of the wave packet.

Thema 5 : holism/atomism

Since Descartes, scientific investigation has been based on the analytic (or reductionist) methodology, which consists in resolving a physical system in its constituent parts. Since

Newton and Boscovic, the worldview that seemed to emerge from classical physics corresponded to a universe filled with tiny corpuscles interacting with each other via specific forces. These tiny corpuscles were seen as the building block of the world, and it was believed that a definitive knowledge of physics would consist in discovering all the properties of these particles with the laws governing their different interactions. The success of field theories like Maxwell's electromagnetism theory and Einstein's general relativity changed the letter rather than the spirit of this view insofar as these fields could be analyzed via the separation of the different regions of space-time in which they propagated¹². Einstein explained the importance of such a methodological principle, saying that : "Unless one makes this kind of assumption about the independence of the existence (the 'being-thus') of objects which are far apart from one another in space which stems in the first place from everyday thinking - physical thinking in the familiar sense would not be possible. It is also hard to see any way of formulating and testing the laws of physics unless one makes a clear distinction of this kind." (Einstein, 1948)

Quantum mechanics seems to challenge this separability that seemed so intuitive. "When two systems, of which we know the states by their respective representatives, enter into temporary physical interaction due to known forces between them, and when after a time of mutual influence the systems separate again, then they can no longer be described in the same way as before, viz. by endowing each of them with a representative of its own. I would not call that *one* but rather *the* characteristic trait of quantum mechanics, the one that enforces its entire departure from classical lines of thought. By the interaction the two representatives (or functions) have become entangled" E. Schrödinger (1935). As Einstein highlighted it, in 1935 with his collaborators Podolski and Rosen (see details of the EPR experiment below), the quantum states of two quantum objects that have interacted in the past (for example two correlated electrons) are mutually interdependent, even when distance separates them: the status assigned to an object depends on whether one has made a measurement on the other and has found a particular result. For example, the measurement of the spin of an electron instantaneously induces the result of the measurement of the spin of the other electron. The two electrons are 'entangled'. Yet, this entanglement incorporates essential feature of the whole system which cannot be explained by reference to the intrinsic properties of its parts. As J. Ladyman and D. Ross argued: "The entangled states of QM do not supervene on the intrinsic properties of their relata, because in an entangled state with respect to some observable, each particle has no state of its own with respect to that observable but rather enters into a product state. The only intrinsic properties that an entity in an entangled state has that are independent of the other entities in that state are its state-independent properties such as charge, mass, and so on, and in general, its relational properties depend on the other entities to which it is related. (Ladyman, Ross, 2010, p. 150)"

This feature of quantum mechanics seems clearly to place this theory in the category of holism in which the description of a supposed constituent of a system becomes meaningless if one tries to separate it from the description of all the other constituents in which it enters into relation. This quantum non-separability threatens another pillar of physics, i.e. the locality principle, which is sanctuarized by special relativity and which states that no interaction can be propagated faster than light. Bell showed in 1964 that any attempt to describe a pair of entangled particles by specifying their states separately with local hidden variables will display statistical correlations fulfilling specific inequalities (the so-called Bell inequalities)

¹² This claim ought to be nuanced, however. As Richard Healey shows in his ("Gauging what's real", OUP, 2007), classical gauge theories display non-separable features. One of the famous instances is the semi-classical Aharanov-Bohm effect in which global features of classical electromagnetic fields are preponderant in the explanation of the phenomena.

violated by some predictions of quantum mechanics. It has been experimentally shown that these inequalities can indeed be violated in perfect accordance with the predictions of quantum mechanics. It has also been shown that the violation of this locality does not call into question the impossibility of transmitting usable information faster than light. However, the problems concerning localization become obvious when one considers the ontological implications of the violations of these inequalities. Proponents of phenomenalist approaches getting around these problems by claiming that they are not concerned by such ontological questions. As there is a choice between either a phenomenalist approach or a realistic approach with "non-local hidden variables" that proposes a clear violation of the principle of locality, then for them, it is reasonable to stick to a phenomenalist approach. Quantum mechanics is then fully consistent with the principle of locality to the extent that this principle is understood as the impossibility of transmitting usable information faster than light. The violation of Bell's inequalities is not a problem for the supporters of Everett's theory (MWI) either. In fact, one of their main arguments is that theirs is the only explicitly realistic interpretation that is fully compatible with the ontological implications of relativity (no privileged frame of reference). The implicit assumption in Bell's work is to say that the result of a measurement is unique, which is not the case in MWI. Everett's theory is perfectly local. Within this theory, the process of division between the many worlds is itself a process that spreads across space at the speed of light (this is done via the propagation of a phenomenon that is called decoherence). But insofar as the MWI approach relies on an ontology directly describable by the formalism of quantum mechanics, it incorporates the concept of entanglement and therefore displays a fundamental non-separability: it is because an observer is entangled with Schrodinger's cat that he can say that it is dead *or* alive relative to his branch of the multiverse.

The Bohmian approaches are clearly non-local and explicitly so. In these theories, EPR correlations are explained by an instantaneous action at a distance between the two particles (ie a direct and instantaneous cause acting between the two correlates). The predictions of these theories, that are the same as those of the standard quantum mechanics are not in contradiction with those of relativity. However, pilot-wave theories must postulate a special frame of reference, which seems rather inelegant to physicists who take the ontological implications of relativity seriously. The pilot-wave theory, however, is separable insofar as each particle can be described by intrinsic properties which are independent of the states of other particles with which they interact. Finally, the GRW theory is not local, because of the instantaneous and non-local nature of the reduction of the wave packet and it is also non-separable.

Thema 6 : unicity / multiplicity

Classical physics assigns a unique set of values to all the properties that characterize each different system. A particle has a momentum value, for example, that excludes all other possible values. And it seems that in this way classical physics describes an obvious characteristic of the macroscopic world that we can observe in our daily lives. The center of gravity of the objects that make up our everyday world (tables, cars, houses, animals, etc.) has, for example, one and only one position in space at any time.

But in quantum mechanics, one of the most important consequences of the form of Schrödinger's equation is that if two wave functions are solutions to the equation, then the

sum of these two functions is also a solution. However, the role of the wave function is usually to describe the state of quantum objects. This is explicitly stated in the orthodox textbook approaches. If, for example, the wave function of a particle is a monochromatic wave, it is usually said that the particle has a momentum value corresponding to its wavelength. How then can we interpret the cases in which the wave function is the sum of two monochromatic waves? Do the corresponding particle have two simultaneous momentums?

Many different answers have been proposed to this question since the advent of quantum mechanics.

1. A first class of responses consists in completely denying this multiplicity of values. However this response can result from very different philosophical positions.
 - a. Phenomenalist physicists and philosophers mostly refuse to consider the wave function as an objective representation of the state of an object whose existence is independent of us. In this case, the wave function is a tool for prediction, and the plurality of momentum values represents the spectrum of values that might be obtained during a measurement of this physical magnitude.
 - b. Another way to deny that an object can have multiple values for the same quantity is to accept a Broglie-Bohm type of hidden variable theory. In this theory, the wave function can have several components but the particle has only a single value of momentum.
2. A second class of responses contains those that accept this multiplicity of values but limit it to the microscopic world. Some proposed (for example [Bunge (1967), Lévy-Leblond (1988)]) that quantum objects are special forms of entities whose state is characterized by the distribution of values rather than single values ('quantons'). According to this point of view the paradox appears when quantum objects are compared to the objects of our daily life, such as small, hard balls, but it disappears as soon as we stop using such metaphors. A difficulty with this position is that it does not explain how macroscopic objects can be made up of such quantum entities. A quantum analysis of the interaction between microscopic and macroscopic objects suggests that the superposition values should, if one accepts the formalism of quantum mechanics, "infect" the entire macroscopic world. This is the famous paradox of Schrödinger's cat (see below for the details of this paradox). The reactions of physicists and philosophers who adopt a response in this class when faced with the problem of the cat, are extremely varied.
 - A first response is to hide behind an anti-realist position concerning the wave function, moving the position closer to the first class of responses.
 - A second is to argue that the formalism of quantum mechanics applies only to microscopic objects. One problem with this position is that it draws a line between the microscopic world and the macroscopic world that would need to be justified if it is not to be considered arbitrary. Another problem is that without the availability of a description of what makes the "bridge" between the microscopic world and the macroscopic world, we have no explanation of what makes our quantum models of the microscopic world fit with the observations which are always made on macroscopic instruments. But if we reject the instrumentalist solution, this kind of explanation is needed.
 - A third solution is to focus on the process of the reduction of the wave function. This kind of response maintains that at one time or another, the Schrödinger equation

ceases to be valid and that all the components of the wave function except one disappear. The challenge for this kind of interpretation is to determine the conditions under which the wave function is reduced. One solution (Von Neumann, London and Bauer, Wigner), as we have seen, is to explain this reduction by a form of intervention from the consciousness of the observer. Another is to show that the reduction is a purely physical phenomenon that occurs even without the presence of an observer. The most fully developed theory of this kind, the GRW theory, looks to the Schrödinger equation in order to explain why the wave function is reduced when the number of particles involved becomes very high. The great challenge for this kind of interpretation is its compatibility with relativistic quantum theories.

3. Finally, the third class of responses are those that fully accept a form of multiplicity. However, this third class also contains two distinct solutions.
 - a. The first is to abandon classical logic in order to permit this multiplicity of values. Since the advent of quantum mechanics, many attempts have been made to apply new theories of logic. One of the first attempts, that of Von Neumann and Birkhoff (1936), was renounced the law of distributivity ($P \text{ and } (Q \text{ or } R) = (P \text{ and } Q) \text{ or } (P \text{ and } R)$). Another approach, which is more interesting for us here is to develop a multivalued logic, that is to say, a system in which truth and falsity are not the only two possible values for a proposal. This is what H. Reichenbach (1944, 1965) proposed, for example, adding a third value "undetermined." So when two propositions are contradictory, there may be cases where neither of the two propositions is false. The challenge, of course, is how to make sense of such new forms of logic.
 - b. The second solution was proposed for the first time in 1956 by Hugh Everett (H. Everett III, "'Relative state' formulation of quantum mechanics," *Review of Modern Physics* 29, 454-462 (1957)). This approach maintains that the multiplicity is transmitted from the microscopic world to the macroscopic world, but each component of the wave function describes a state of the world in which an observer has no further interactions with what is represented by the remaining components. In other words, the wave function represents a multiplicity of worlds that are causally separated, which results in the observer having the impression of living in one world. Often dismissed as fanciful or as not even making sense, this interpretation has nevertheless been defended by the physicists Bryce DeWitt and David Deutsch. In its early versions, there were considerable obstacles to this interpretation including the fact that there is no reason to interpret the wave function as describing several worlds, but also the fact that the probabilistic interpretation of the wave function hardly seems compatible with such a theory. However, there have been many studies during the 1990s and 2000s by physicists and philosophers based at Oxford, such as David Deutsch, Simon Saunders and David Wallace aimed at answering these objections. The question of whether these responses have been successful is still under debate (for a report of recent places, see S. Saunders, J. Barrett, A. Kent & D. Wallace, *Many worlds? Everett, Quantum Theory and Reality*, Oxford University Press (2010)).

Finally, the posture adopted with respect to this Themata "uniqueness / multiplicity" is fraught with consequences, since it can motivate the acceptance of an infinity of universes or push a scientist towards an anti-realist position.

Synthetic table of thematic inclinations of the four main interpretations of quantum mechanics

| Themata | Determinism | Realism | Objectivity | Holism (non local, non separable) | Multiplicity Superposition |
|-------------------|-------------|---------|-------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Orthodox | no | No | Weak | Yes | no only at the micro level |
| Pilot wave | variable | Yes | strong | yes | no |
| GRW | no | yes | strong | No | no only at the micro level |
| MWI | yes | yes | Strong | No | Yes |

Tableau 6: Synthetic table of thematic inclinations of the four main interpretations of quantum mechanics

Conclusion

A first look at the physics community suggests that some radically opposed lines of thought coexist in an apparently harmonious fashion: phenomenalism/realism, continuity/discontinuity, etc. But if we look closer, this peaceful heterodoxy is not so evident. E. Klein has written that "there are not positivists on one side and realists on the other, for the simple reason that most physicists are both at the same time. Almost all worship at both churches "(Klein, 1996, 97). But is he right? This claim needs to be checked because, even if the explicit position of the same researcher can vary according to the context in which the question is posed - making calculations, discussing a theory's fundamental ontology, etc - we believe that deeper themata remain stable independently of the different discourses and centers of interests and orient each researcher towards a particular interpretation. As Holton says, it is very rare that a person changes themata. If physicists took the time to understand their thematic inclination they would probably be surprised to see what type of quantum mechanics is coherent with this orientation.

It would be interesting to extend the analysis, to see which themata are correlated for the various researchers. Does a physicist who adheres to continuity always adhere to holism, to determinism and to non-locality? Themata can indeed fit into networks of belief; atomism, for example, is related to the continuity/discontinuity thema where it favours discontinuity. The use of these representations as principles for analysis requires a formal analysis of the content

of scientists' discourse. For this, it is necessary to seize themata within a given discourse to understand the personal sense of the statements. This is the object of our future research.

Bibliography

- Bachelard, Gaston. *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin, 1938.
- Balian Roger. « Quantum physics conflicting with intuition ». In *L'imagination et l'intuition dans les sciences*, edited by Académie des sciences morales et politiques, 57-72. Paris : Hermann, 2008.
- Bhaskar, Roy. *A Realist Theory of Science*. London: Verso, 1997.
- Berthelot Jean-Marie. *L'intelligence du social*. Paris : Puf, 1990.
- Besnier Jean-Marie. « Réinventer le mythe de la science ». In *Les valeurs de la science*. Paris : Hors-Série *Sciences et Avenir*, 144, Octobre-Novembre 2005.
- Bitbol Michel. *Mécanique quantique: une introduction philosophique*. Paris: Flammarion, 2008.
- Bitbol Michel. *L'aveuglante proximité du réel*. Paris: Flammarion, 1999.
- Born Max. "Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge" ("Quantum Mechanics of Collision Phenomena"). *Zeitschrift für Physik*, no.37 (1926): 863-867.
- Bohr Niels. *Essays 1958-1962 on atomics and human knowledge*. Woodbridge : Ox Bow Press, 1963.
- Boyer Thomas. *La pluralité des interprétations d'une théorie scientifique : le cas de la mécanique quantique*. Paris : Thèse pour l'obtention du grade de docteur en Philosophie de l'Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2011.
- Boudon Raymond. *L'art de se persuader*. Paris : Fayard, 1990.
- Bricmont Jean. *La non localité et le modèle de Bohm*. Paris : Accadémie des sciences morales et politiques, 2000.
- Bunge Mario. "Analogy in Quantum Mechanics : From Insight to Nonsense". *The British Journal for Philosophy of Science*, no.18 (1967):265-286.
- Crombie Albert. C., *Styles of Scientific Thinking & Doing in the Western Tradition. Vol. I : 83-87*, 1994.
- Duquette Jonathan. "Quantum Physics and Vedanta : A Perspective from Bernard d'Espagnat's Scientific Realism". *Zyglon* 46, no.3 (2011): 620-638
- Einstein Albert. "Letter to Max Born (4 December 1926)". *The Born-Einstein Letters*, London: Macmillan, 1971.
- Einstein Albert. "Quantum Mechanics and Reality". *Dialectica* no.2 (1948): 320-324.
- Einstein Albert, "Briefe an Maurice Solovine (1906-1955)". Berlin : Veb deutscher Verlag der Wissenschaft, 1960.
- Einstein Albert, Podolsky Boris and Rosen Nathan. "Can quantum description of physical reality be considered complete ?". *Physical review*, no.27 (1935):777.
- Esfeld M., "Essay Review: Wigner's view of physical reality". *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. no.30B (1999): 145-154.
- Espagnat Bernard d'. *Le réel voilé: analyse des concepts quantiques*. Paris: Fayard, 1994.
- Heisenberg Werner. *The Born-Einstein Letters*. London : Macmillan, 1971.
- Feynman Richard. *Feynman Lectures on Physics*. Boston, MA: Addison Wesley Longman, 1970.

- Funkenstein Albert. *Théologie et imagination scientifique. Du moyen-âge au XVIIIème siècle*. Paris : Puf. 1995
- Gayon Jean. *De la catégorie de style en histoire des sciences*. *Alliage*, no.26 (1996) : 13-25.
- Goswami Amit and Goswami Magi. “Philosophy Project of History of Indian Science”. *Science and spirituality: a quantum integration*. (PHISPC series on history of philosophy, science, and culture in India ; 9). New Delhi, Inde: Project of History of Indian Science, Philosophy, and Culture : Distributed by Munshiram Manoharlal Publishers. 2000
- Hacking I., *Scientific Reason*, lectures given in Taiwan and published in 2009. I. Methods, objects, and truth, 21 April 2010
- Heisenberg Werner. “Development of Concepts in the history of quantum Theory”, *American journal of Physics*, n°43 (1975) : 389-394.
- Heisenberg W, *Proceeding of the 1927 Solvay conference*, In G. Bacciagaluppi, A. Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads, reconsidering the 1927 Solvay conference*, Cambridge University Press, 2009, p. 496. Originally in *Electrons et photons*. Rapports et discussion de la réunion du cinquième Conseil de physique tenu à Bruxelles du 24 au 29 octobre 1927 sous les auspices de l'Institut international de physique Solvay, Paris : Gauthier-Villars, 1928.
- Holton Gerald. “On the Role of Themata in Scientific Thought”, *Science, New Series* 188 no.4186 (1975): 328-334.
- Holton Gerald. « The Role of Themata in Science », *Fondations of Physics* 26, no. 4 (1996) : 453-465.
- Holton Gerald. “Ueber die Hypothesen, welche der Naturwissenschaft zu Grunde liegen”, Zurich: Rhein-Verlag, 1963, 351-425.
- Holton Gerald. *Thematic Origins of Scientific Thought*, Harvard : Harvard University Press, 1973, revised edition 1988.
- Klein Etienne, *La physique quantique*, Paris : Flammarion, 1996.
- Ladyman James and Ross Don. *Every thing must go*, Oxford : Oxford University press, 2010.
- Laplace Pierre, Simon. *Essai philosophique sur les probabilités*, Cambridge : Cambridge University Press, 2009 (1814).
- Levy-Leblond, Jean-Marc. « Neither waves, nor particles, but quantons », *Nature* 334, (1988) : 19 – 20.
- London Franz and Bauer Edmond. « La théorie de l’observation en mécanique quantique », *Activités scientifiques et industrielles, exposés de physique générale, publiés sous la direction de Paul Langevin, n°775*, Paris : Hermann, 1939.
- Mehra J. and Wightman A. S. (Eds.), *The Collected Works of Eugene Paul Wigner (1902-1995)*, 8 vols. Berlin: Springer-Verlag, 1990-2000.
- Moscovici Serge, *Recension du livre de G.Holton « L’imagination scientifique » (1981)*, *Revue d’Histoire des Sciences* 37, no.2 (1984) : 157.
- Nicolescu Barbarescu, *Nous, la particule et le monde*, Paris : Le Mail, 1985.
- Palacios-Laloy Agustin, Mallet François, Nguyen François, Bertet Patrice, Vion Denis, Esteve Daniel and Korotkov Alexander N., “*Experimental violation of a*

Bell's inequality in time with weak measurement », *Nature Physics* 6 (2010) : 442–447.

- Pauli Wolfgang. *Niels Bohr and the Development of Physics: Essays Dedicated to Niels Bohr on the Occasion of His Seventieth Birthday*, McGraw-Hill, 1955, 12-29
- Penrose Roger. *The Emperor's New Mind*, Oxford: Oxford University Press, 1989.
- Philpapers, <http://philpapers.org/surveys/> 2009 (accessed october 2013 24th)
- Prigogine I. *Temps et devenir autour des travaux d'Ilya Prigogine*, « actes du Colloque international de 1983, tenu du 20 au 27 juin au Centre culturel international de Cerisy-la-Salle”. Paris : Hermann, 2012.
- Quidu Matthieu « Les themata dans la recherche en STAPS : motivations et modalités d'intervention », *Staps* 2 no.84 (2009) : 7-27.
- Quine William V., and Ullian Joseph S. *The Web of Belief*, New-York: Random House, 1970.
- Reichenbach Henrich. *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, Berkeley: University of California Press, 1944.
- Schrödinger Erwin. *Science and humanism*, Four public lectures at university College Dublin in February 1950, Cambridge : Cambridge university press, 1951.
- Schrödinger Erwin. *Physique quantique et représentation du monde*, introduction et notes de M. Bitbol, Paris : Seuil, 1992.
- Schrödinger Erwin. “Discussion of Probability Relations between Separated Systems”, *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 1935, no.31: 555-563.
- Thaheld Fred H. “Does consciousness really collapse the wave function? A possible objective biophysical resolution of the measurement problem”, *Bio Systems* 81, no. 2 (2005): 113-24.
- Schlosshauer Maximilian, Kofler Johannes & Zeilinger Anton, “A Snapshot of Foundational Attitudes Toward Quantum Mechanics”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 44, no. 3 (2013):222-230.
- Von Neumann John, and Birkhoff Garrett, “The logic of quantum mechanics”, *Annals of Mathematics* 1936, no. 37: 823-843.
- Wigner Eugene. “Remarks on the Mind-Body Problem”, in *The Scientist Speculates*, edited by I. J. Good, 284-302. London: Heinemann, 1961.
- Wigner Eugene.”The problem of measurement”. *American Journal of Physics*, no.31 (1963):6-15.

Annexe 6. Quelques éléments de physique quantique

Voici différents éléments qui pourront être utiles au lecteur de cette thèse, au sujet de la mécanique quantique (les références bibliographiques figurent dans la bibliographie générale de la thèse ou dans celle de l'annexe 5, juste au dessus). Certains passages sont d'ailleurs issus du texte précédant (avec la traduction).

Rétrospective sur les dates phares de la physique quantique au XX^{ème} siècle (étant entendu que bien des découvertes ont précédé)

- **1900** : M. Planck montre que l'énergie électromagnétique n'est pas émise de manière continue mais par petits paquets, les sauts quantiques.
- **1905** : A. Einstein postule à partir de l'hypothèse quantique de Planck que la lumière elle-même est constituée de particules individuelles quantiques (photons).
- **1913** : N. Bohr propose un modèle d'atome doté d'un noyau central autour duquel tournent des électrons. Les distances séparant les atomes entre eux sont semblables à celles qui séparent les étoiles, en proportion. Il suggère que les mouvements électroniques entre les orbites nécessitent des émissions ou des absorptions quantifiées d'énergie.
- **1919** : Rutherford réalise la première transmutation artificielle de la matière en transformant de l'Azote en Oxygène (+ protons), bombardé par des rayons alpha.
- **1925** : N. Bohr et W. Heisenberg développent l'interprétation de la théorie quantique dite de « Copenhague ».
- **1926** : E. Schrödinger utilise le postulat d'équivalence onde-matière de De Broglie pour développer une équation d'onde représentant mathématiquement la distribution d'une charge d'un électron sur l'espace.
- **1927** : L. de Broglie propose une interprétation de la théorie quantique par « l'onde pilote ».
- **1935** : le Paradoxe EPR (Einstein, Podolsky et Rosen), propose une expérience de pensée sur des particules intriquées dont le comportement s'influence instantanément malgré la distance qui les sépare.
- **1936** : L. De Broglie décrit les corpuscules atomiques comme des « localisations provisoires d'ondes de probabilité ». C'est-à-dire que les crêtes qu'elles dessinent représentent les points de l'espace où l'on a le plus de chance de trouver la particule.
- **1956** : D. Bohm développe « l'interprétation causale » de la théorie quantique, proche de « l'onde pilote » de L.de Broglie. On appelle cette interprétation aussi la théorie de de Broglie-Bohm.
- **1957** : H. Everett publie un article sur son interprétation des états relatifs de la mécanique quantique dite théorie des multivers (MWI : ManyWorlds Interpretation)
- **1970** : H. Dieter Zeh introduit la théorie de « la décohérence »
- **1981** : premières vérifications expérimentales du paradoxe EPR.
- **1985** : élaboration de l'interprétation GRW par Ghirardi, Rimini et Weber.
- **1996** : premières vérifications expérimentales de la théorie de la décohérence.

Beaucoup d'autres auteurs et découvertes mériteraient de figurer dans cette rétrospective, mais nous avons voulu ici, de manière très succincte, donner des éléments d'aide à la compréhension des prochains paragraphes. Pour un aperçu plus poussé, on pourra se référer à des nombreux ouvrages de grande qualité sur la mécanique quantique¹³.

Concernant les différentes interprétations évoquées (Copenhague, ManyWorlds, Onde pilote, GRW et la décohérence), nous les explicitons plus en détail en fin de chapitre, dans la question du choix d'interprétations des physiciens.

¹³ Par exemple les ouvrages en français de M.Esfeld, F. Laloe, M. Bitbol, B.d'Espagnat, M.Paty.

Problèmes et paradoxes du monde quantique

Voici une liste des points de la théorie quantique qui sont soumis à interprétation :

- indéterminisme : à une même cause correspondent plusieurs effets possibles ? Est-il impossible de prédire le résultat d'une expérience sur un élément, ne peut-on avoir que des probabilités ?
- superposition : une particule peut-elle être simultanément dans deux endroits et se déplacer dans plusieurs directions à la fois ?
- inséparabilité : comment deux particules ayant interagi, aussi éloignées soient elles ultérieurement, se tiennent informées de leur état respectif ?
- discontinuité : sauts quantiques ou continuité ?
- subjectivité : rôle de l'observateur ?
- pluralité des lois : les lois quantiques et classiques sont-elles unifiables ?
- systémisme : une particule peut-elle encore être pensée isolément ? Ou n'est-elle qu'une interconnexion entre différents processus d'observation, de mesures et d'autres « objets », eux-mêmes soumis aux mêmes dépendances ?
- remise en cause du concept de particules : un électron, par exemple, ne peut plus être considéré comme existant dans un endroit précis de l'espace. Il est distribué dans l'espace avec des tendances à exister en différents endroits.

Le problème central de l'interprétation de la mécanique quantique est le problème dit de la mesure.

Chacune des propositions suivantes, prises isolément, semblent raisonnables : il y a de très bonnes raisons de penser, pour chacune d'entre elles, qu'elles sont vraies. Mais elles ne sont mutuellement pas compatibles.

1. La description d'un objet par sa fonction d'onde (ou son vecteur d'état) est une description complète de l'objet, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de données supplémentaires, couramment appelées « variables cachées », qui permettraient de spécifier davantage les propriétés d'un objet quantique.
2. La fonction d'onde (ou le vecteur d'état) évolue toujours dans le temps selon une équation dynamique linéaire comme l'équation de Schrödinger.
3. Lorsque l'on fait une mesure, on obtient en générale un résultat déterminé, ou dit autrement, les objets macroscopiques ne sont jamais dans des états de superposition.

On pourrait également ajouter une quatrième proposition, qui est toujours admise implicitement :

4. La mécanique quantique est une théorie empiriquement adéquate.

Les propositions 1 et 2 prises conjointement sont incompatibles avec la proposition 3. Si la dynamique quantique est complète et linéaire, alors les objets, mêmes macroscopiques, devraient se trouver dans des états superposés relativement à certaines de leurs grandeurs. Les propositions 2 et 3 prises conjointement sont incompatibles avec la proposition 1. Si la dynamique quantique est linéaire et si les résultats de mesure sont uniques, alors il doit y avoir quelque chose de plus que la fonction d'onde qui détermine un résultat parmi le spectre de valeurs possibles associées à la superposition. Enfin, les propositions 1 et 3 prises conjointement sont incompatibles avec la proposition 2, car s'il n'y a pas de variables cachées qui déterminent un seul résultat de mesure, cela veut dire que toutes les composantes de la fonction d'onde à l'exception d'une (celle qui correspond au résultat) ont disparu, ce qui est impossible si l'équation d'onde est linéaire. -

Paradoxe du chat de Schrödinger

Le problème de la mesure a été popularisé en 1935 par Erwin Schrödinger avec le « paradoxe du chat », qui consiste à spéculer sur le sort d'un chat qui serait enfermé dans une boîte

contenant un noyau radioactif susceptible, en cas de désintégration, d'actionner un mécanisme qui provoquerait la mort de l'animal. Le formalisme de la mécanique quantique décrit un atome radioactif, après que le temps de demi-vie ait été écoulé, comme étant dans un état de superposition que l'on pourrait écrire : « atome désintégré + atome non-désintégré ». Si cet atome est couplé avec un autre système physique, en particulier le reste de la boîte contenant le mécanisme mortel et le chat, alors l'état de l'atome devient étroitement lié à celui du reste, de manière à ce que, d'après l'équation de Schrödinger, l'état de la boîte complète évolue au bout du temps de demi-vie vers l'état : « atome désintégré, mécanisme actionné et chat mort » + « atome non-désintégré, mécanisme non-actionné et chat vivant ». On dit alors que les états de l'atome, du mécanisme et du chat sont « intriqués » ou encore « enchevêtrés ». Le paradoxe est alors apparent : si la mécanique quantique offre une description complète du système physique et si l'état évolue vraiment selon l'équation de Schrödinger, le chat doit être considéré comme étant ni vivant, ni mort, mais « mort + vivant ».

Réduction du paquet d'onde (ou projection du vecteur d'état)

Une grande partie des solutions proposées au problème de la mesure (notamment les approches pragmatiques et l'approche GRW) consistent à miser sur le fait que la proposition 2 est fautive, à savoir que la fonction d'onde n'évolue pas toujours selon l'équation de Schrödinger. A un moment ou à un autre d'un processus de mesure, la fonction d'onde est réduite : tous les termes de celle-ci qui ne correspondent pas au résultat obtenu disparaissent. Outre le problème, restant ouvert, de savoir à quel moment la fonction d'onde se réduit, Einstein a mis en évidence en 1927 lors du conseil Solvay que cette réduction spontanée n'allait pas sans poser quelques problèmes de principe. Einstein note en effet que la fonction d'onde associée à une particule peut se propager sur des distances qui peuvent être non-négligeables. Comment, demande Einstein, au moment où la particule se « matérialise » à l'endroit où elle est détectée, les autres parties de la fonction d'onde « savent » qu'elle s'est matérialisée à cet endroit et qu'elle ne peut donc plus se matérialiser à un autre. Aucun message physique ne peut être transmis plus rapidement que la lumière. Si donc la valeur de la fonction d'onde à un endroit représente une certaine « tendance » (ou une propension) de la particule à se manifester à cet endroit, comment est-il possible que cette propension disparaisse immédiatement à cet endroit dès que la particule s'est manifesté à un autre, sans qu'il y ait eu échange de signaux physiques entre les deux régions ? Einstein pense ici mettre le doigt sur un conflit entre la mécanique quantique et un certain principe de localité qui est un des piliers de la relativité, conflit qui sera encore davantage mis en évidence par le paradoxe EPR.

Paradoxe EPR

La même année, Einstein et ses deux collaborateurs, Podolski et Rosen (EPR) révèlent un nouveau paradoxe apparent de la mécanique quantique, également étroitement lié au problème de la mesure. EPR commencent par se donner ce qu'ils appellent « un critère de réalité physique » qui semble bien saisir une caractéristique fondamentale de notre intuition du concept de réalité. Il s'énonce comme suit :

« Si, sans perturber en aucune façon un système nous pouvons prévoir avec certitude la valeur d'une quantité physique (sous-entendu, associée à ce système), alors il existe un élément de la réalité physique qui correspond à cette quantité. »

EPR imaginent ensuite une situation dans laquelle deux particules, appelons-les A et B, ayant interagies (et étant donc intriqués, comme le chat et le noyau radioactif) puissent faire l'objet de mesures. Les deux particules sont préparées d'une telle sorte que la position et la quantité de mouvement des deux particules soient chacune indéterminées après leur interaction, mais que, connaissant l'état quantique du système global (A + B), on puisse déterminer la position

(ou la quantité de mouvement) de B en faisant une mesure sur la position (ou la quantité de mouvement) de A. Les expérimentateurs ont le choix de mesurer la position ou la quantité de mouvement de chacune des particules. Il est cependant inutile de mesurer conjointement la position de A et la position de B ou la quantité de mouvement de A et la quantité de mouvement de B, car, comme on vient de le préciser, connaissant la position (ou la quantité de mouvement) de A, on peut déduire grâce au vecteur d'état initial la position (ou la quantité de mouvement) de B. On peut donc déterminer la position ou la quantité de mouvement de B sans même la perturber. On peut alors se poser la question : est-ce le fait de mesurer la position (ou la quantité de mouvement) de A qui détermine, à distance, la valeur de la position (ou de la quantité de mouvement) de B, ou est-ce que la valeur de la position (ou de la quantité de mouvement) de B existait avant que l'on n'exécute la mesure de A ? Autrement dit, la mesure de la position (ou de la quantité de mouvement) de A ne fait-elle que révéler un état de fait concernant B déjà existant avant cette mesure, ou bien est-ce que cette mesure contribue à créer cet état de fait ? Le critère de réalité d'EPR fournit une réponse : si on peut mesurer la position (ou la quantité de mouvement) de B sans la perturber, alors il existe des « éléments de réalité » qui correspondent à ces quantités avant même qu'on les révèle. Or, le vecteur d'état initial ne fait aucune référence à ces éléments de réalité. EPR concluent qu'il existe un paradoxe si nous tenons simultanément pour vrai le critère de réalité et l'hypothèse de complétude de la mécanique quantique (c'est-à-dire la proposition 1 du problème de la mesure). Bien entendu, EPR estiment que pour résoudre le paradoxe, la validité du critère EPR de réalité semble tellement évident que c'est l'hypothèse de complétude qui doit être rejetée.

Il y a cependant dans le raisonnement de EPR une hypothèse implicite qui prendra une très grande importance dans les discussions sur les fondements de la mécanique quantique à partir des années 1960. Il s'agit de l'idée selon laquelle la mesure de la position (ou de la quantité de mouvement) de A ne perturbe pas physiquement la particule B. Or, comme le montrera John Bell en 1966, le seul type de théories qui permettraient de compléter la mécanique quantique à l'aide de variables cachées sont non-locales, c'est-à-dire qu'ici, les particules A et B interagiraient, selon ces théories, instantanément à distance. Dans ce cas, la mesure faite sur A perturberait instantanément la particule B. Finalement donc, le paradoxe EPR peut s'expliquer comme suit. Les trois propositions suivantes ne peuvent pas être simultanément vraies :

1. Hypothèse de complétude : La description d'un objet par sa fonction d'onde (ou son vecteur d'état) est une description complète de l'objet, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de données supplémentaires, couramment appelées « variables cachées », qui permettraient de spécifier davantage les propriétés d'un objet quantique.
2. Critère de réalité : « Si, sans perturber en aucune façon un système physique nous pouvons prévoir avec certitude la valeur d'une quantité physique, alors il existe un élément de la réalité physique qui correspond à cette quantité. »
3. Hypothèse de localité : Si deux régions de l'espace-temps sont séparés d'une façon à ce qu'aucun signal lumineux ne peut les relier, alors la situation de fait dans une de ces régions ne peut pas dépendre de ce qui est fait dans l'autre région (la situation de la particule B ne peut pas dépendre de ce qui est fait sur A).

En 1966, le travail de Bell consistera à montrer qu'au moins une de des deux propositions suivantes est fausse :

1. L'hypothèse de complétude est fausse (dit autrement, il existe des variables cachées).
2. L'hypothèse de localité est vraie.

Commençons par décrire le paradoxe de non-localité – autrement appelé paradoxe EPR (en référence aux physiciens Einstein, Podolsky et Rosen). Einstein, en 1935, et ses deux

collaborateurs, Podolsky et Rosen, perturbés par l'interprétation de la mécanique quantique, révèle un nouveau paradoxe, étroitement lié au problème de la mesure. Ils imaginent une situation dans laquelle deux particules, appelons-les A et B, sont préparées de telle sorte qu'elles soient intriquées¹⁴. C'est-à-dire que, connaissant l'état quantique du système global (A + B), on puisse déterminer la valeur d'une propriété – par exemple le spin, la position ou la quantité de mouvement -de B en faisant une mesure sur la propriété de A – ou réciproquement. Connaissant par exemple le spin de A, on peut ainsi déduire grâce au vecteur d'état initial le spin de B. On peut donc déterminer le spin de B sans même le perturber. Se pose alors la question : est-ce le fait de mesurer le spin de A qui détermine, à distance, le spin de B, ou est-ce que la valeur du spin de B existait avant que l'on n'exécute la mesure sur A ? Autrement dit, la mesure du spin de A ne fait-elle que révéler un état de fait concernant B déjà existant avant cette mesure, ou bien est-ce que cette mesure contribue à créer cet état de fait ?

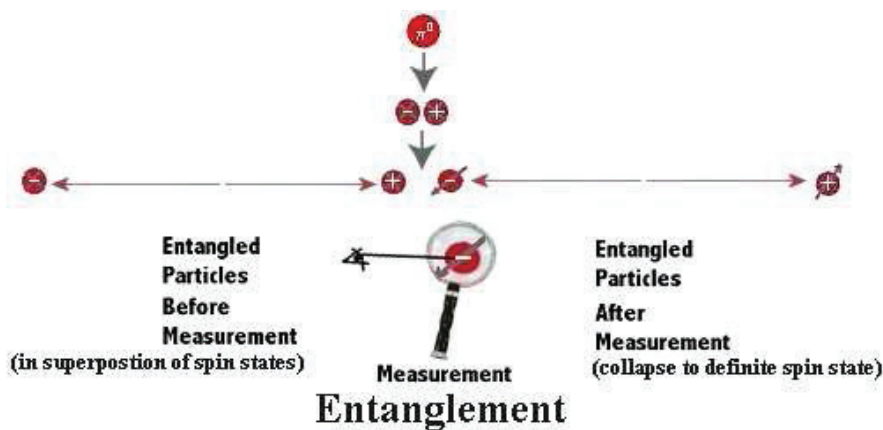


Figure 1: schéma représentant l'expérience de pensée d'EPR. Une particule décrite par une seule fonction d'onde se désintègre par exemple en deux particules, ce que fait un méson pi qui produit deux photons (- et + sur ce schéma, et la flèche représente l'orientation du spin de la particule). A priori, des mesures sur l'un ne peuvent influencer sur l'état de l'autre lorsqu'une grande distance les sépare. La mécanique quantique réfute cette conclusion. Source : <http://universe-review.ca>.

Einstein et ses collaborateurs (EPR) postulèrent un critère de réalité « Si, sans perturber en aucune façon un système nous pouvons prévoir avec certitude la valeur d'une quantité physique associée à ce système, alors il existe un élément de la réalité physique qui correspond à cette quantité. » Autrement dit, si on peut mesurer le spin de la particule B sans la perturber, alors il existe des « éléments de réalité » qui correspondent à ces quantités avant même qu'on les révèle. Or, le vecteur d'état initial ne fait aucune référence à ces éléments de réalité. Les trois physiciens concluent qu'il existe un paradoxe si nous tenons simultanément pour vrai le critère de réalité et l'hypothèse de complétude de la mécanique quantique (c'est-à-dire qu'il n'existe pas de variables cachées). Ils estiment que, la validité du critère de réalité semble tellement évidente que c'est l'hypothèse de complétude qui doit être rejetée.

Il y a cependant dans le raisonnement EPR une hypothèse implicite qui prendra une très grande importance dans les discussions sur les fondements de la mécanique quantique à partir des années 1960. Il s'agit de l'idée selon laquelle la mesure de la quantité de mouvement de A ne perturbe pas physiquement la particule B. Cette hypothèse là peut aussi être rejetée. C'est-à-dire que la mesure faite sur A perturberait instantanément la particule B, bien qu'elle soit éloignée. Le rejet de cette hypothèse introduit la suspicion d'une interaction instantanée à distance.

¹⁴ L'intrication quantique est un phénomène observé en mécanique quantique dans lequel l'état quantique de deux objets doit être décrit globalement, sans pouvoir séparer un objet de l'autre, bien qu'ils puissent être spatialement séparés. Lorsque deux systèmes – ou plus – sont placés dans un état intriqué, il y a des corrélations entre les propriétés physiques observées des deux systèmes qui ne seraient pas présentes si l'on pouvait attribuer des propriétés individuelles à chacun des deux objets.

Finalement donc, le paradoxe EPR peut s'expliquer comme suit. Les trois propositions suivantes ne peuvent pas être simultanément vraies :

1. **Hypothèse de complétude** : la description d'un objet par sa fonction d'onde (ou son vecteur d'état) est une description complète de l'objet, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de données supplémentaires, couramment appelées « variables cachées », qui permettraient de spécifier davantage les propriétés d'un objet quantique.
2. **Critère de réalité** : « Si, sans perturber en aucune façon un système physique nous pouvons prévoir avec certitude la valeur d'une quantité physique, alors il existe un élément de la réalité physique qui correspond à cette quantité. »
3. **Hypothèse de localité** : Si deux régions de l'espace-temps sont séparées d'une façon à ce qu'aucun signal lumineux ne peut les relier, alors la situation de fait dans une de ces régions ne peut pas dépendre de ce qui est fait dans l'autre région (la situation de la particule B ne peut pas dépendre de ce qui est fait sur A).

Comme l'avait exprimé Einstein en 1935 avec ses collaborateurs Podolsky et Rosen, les états quantiques de deux objets quantiques ayant interagis dans le passé – on parle de particules intriquées – sont, d'après la mécanique quantique standard, mutuellement interdépendants, même lorsqu'une distance énorme les sépare. Comme il peut exister une distance considérable entre les deux électrons, Einstein supposa que les corrélations dont il était question en mécanique quantique ne pouvaient pas être liées par un rapport de causalité direct entre les deux électrons. Il conclut donc qu'il s'agissait nécessairement d'une corrélation par cause commune. Un exemple de corrélation par cause commune est le jeu de pile ou face. Si vous jouez à ce jeu avec quelqu'un et que vous obtenez pile, alors votre adversaire obtiendra forcément face. La cause commune de vos résultats respectifs est ici le jeté de pièce.

Dans cette perspective, le fait qu'à chaque fois que l'on mesure le spin de l'électron vers le haut, le spin de son alter égo soit orienté vers le bas est aussi peu mystérieux qu'au jeu de pile ou face, où à chaque fois que vous obtenez pile, votre adversaire obtient face. Comme la mécanique quantique ne fait mention d'aucune cause commune à ces corrélations, Einstein, Podolsky et Rosen concluaient que la mécanique quantique n'est pas complète : la cause commune est à chercher dans des variables cachées. Revenons à cette hypothèse de localité.

Voici ce que les physiciens entendent par « localité » : toutes les causes (et leurs effets) sont locales, ce qui signifie que qu'elles se propagent dans l'espace avec une vitesse finie dans un temps fini. En d'autres mots, l'action à distance est impossible. C'est d'ailleurs le même Einstein qui a montré que les objets matériels obéissent à une vitesse limite, celle de la lumière de 300 000 km/s. Pour franchir une certaine distance, il faut un certain temps.

En 1964, Bell entreprenait un travail théorique qui fut décisif dans la clarification du problème. Il démontra un théorème qui établit que les corrélations par cause commune ou plus généralement par des variables cachées qui respectaient le principe de localité devaient toujours respecter certaines inégalités statistiques (les inégalités de Bell). Et il montra que dans certaines situations, les prédictions de la mécanique quantique violaient systématiquement ces inégalités.

Autrement dit, les corrélations du type EPR ne peuvent pas s'expliquer par une explication de type « pile ou face ».

Il proposa une théorie alternative à la mécanique quantique, une théorie à variable cachée, « local hidden variable theory » (LHVT) . Cette théorie résout le problème de la localité, en éliminant l'hypothèse 1. A la différence de la théorie de Bohm, qui est aussi une théorie à variables cachées, mais non locale, LHVT peut se distinguer de la mécanique quantique dans des domaines expérimentables concrètement. « If pairs of particles could be produced under conditions where QM would predict long range correlations (and LHVT would not), then

measurements of the particles' properties once they were separated would allow us to see which theory was correct" (Harvey 1981, p. 107). Voici une expérience : deux particules sont émises de manière à ce qu'une relation de conservation existe entre une de leurs propriétés, par exemple, la somme de leurs spins doit être nulle. On dit qu'ils sont corrélés. Il peut s'agir de deux électrons, émis à partir d'une même source par exemple. D'un point de vue purement expérimental, on constate, des corrélations entre les résultats des mesures faites sur les deux électrons. Si l'on mesure le spin de l'un, l'autre affichera toujours un spin dans le sens opposé. Ces expériences ont été réalisées par des équipes telles celle d'Aspect, Dalibard, Grangier et Roger en 1982 (distance entre polariseurs 15 m, violation des inégalités de Bell 6 écarts types) ou celle de Zeilinger, Weinfürter et leurs collègues en 1998 (distance entre polariseurs 400 m, violation des inégalités 30 écarts type), et une dizaine d'autres avant eux (Harvey 1981) mais seuls ces deux derniers se sont occupés du critère temporel (mesure instantanée).

Comment les électrons de notre expérience « s'influencent-ils » instantanément à distance ?

Si nous reprenons nos 3 hypothèses, il ne reste maintenant que ces options.

1. Soit on abandonne le critère de réalité.
2. Soit on a des variables cachées non locales ;
3. Soit on n'a ni variables cachées, ni non réalité. S'agit-il de non-localité ?

Reprenons ces 3 options.

1. Concernant le critère de réalité, on peut choisir de s'en tenir à une approche phénoméniste. L'approche française en philosophie des sciences semble proche de cette option puisque des auteurs –physiciens et philosophes des sciences- français qui s'intéressent aux fondements de la mécanique quantique tendent souvent à soutenir une position qui ne va pas dans le sens du réalisme. C'est très clairement le cas avec Michel Bitbol. Bernard D'Espagnat est plus nuancé, mais le réalisme qu'il soutient est très modéré. Il y en a d'autres (comme par exemple Lévy-Leblond, Paty) qui soutiennent une position réaliste, mais qui buttent face au problème de la mesure.
2. Concernant les variables cachées non locales, l'interprétation qui a choisi cette voie est celle de David Bohm, ou théorie de l'onde pilote.

Dans l'acceptation de la réalité et le rejet des variables cachées, que reste-t-il comme possibilité ? Une possibilité est d'accepter qu'il existe une action à distance instantanée. Depuis la théorie de la relativité, il est impératif qu'une interaction physique ne puisse se propager plus rapidement que la lumière, autrement-dit : pas instantanément. Les intrications quantiques violent-elles la relativité et transmettent-elles de l'information plus rapidement que la lumière ? Il a été montré que la violation de la localité en mécanique quantique ne remettrait pas en cause l'impossibilité de transmettre des informations exploitables plus rapidement que la lumière. Donc, ceux qui optent pour cette réponse doivent contrer cette preuve. Il existe en fait un autre type de réponse. La mécanique quantique peut rester pleinement compatible avec l'impossibilité de transmettre des informations exploitables plus rapidement que la lumière. En revanche, ce résultat met en cause un principe qui a toujours été plus ou moins connecté avec le principe de localité, qui est le principe de séparabilité, selon lequel on peut toujours diviser par la pensée un système physique selon ces constituants élémentaires. Lorsque l'on a à faire à des paires de particules intriquées, celles-ci doivent être vues comme formant un tout qu'on ne peut séparer qu'au moment d'une mesure effectuée sur l'une d'entre elles.

Annexe 7. Les différentes interprétations de la théorie et le rôle de l'observateur

Nous revenons ici sur le thème subjectivité/objectivité, traité en corps de thèse. Nous développons ici plus en détail l'enjeu de l'observateur en physique quantique et le positionnement de chaque physicien interrogé sur ce sujet.

Rappel de l'enjeu de l'observateur en mécanique quantique

A partir des années 1920, s'est imposée, autour de personnalités comme Bohr et Heisenberg¹⁵, l'idée que l'on ne pouvait pas passer sous silence le rôle fondamental du sujet en mécanique quantique. Heisenberg, par exemple, ira jusqu'à prétendre qu'au moment de la mesure « l'observateur *lui-même* fait le choix, parce que ce n'est qu'au moment où l'observation est faite que le « choix » est devenue une réalité physique » (Heisenberg, conseil Solvey, 1927). Selon lui, c'est l'observation qui crée le fait que les propriétés du système quantique deviennent définies. Il parle de la projection de la fonction d'onde comme étant induite par l'observateur. Pour Bohr, les propriétés d'un système dépendent de manière fondamentale des conditions expérimentales, y compris des conditions de mesure. Ainsi, on ne peut pas parler de la position d'un système quantique de façon générale : les caractéristiques des objets sont soumises au contexte et au sujet qui mesure. Optant pour un point de vue différent, Schrödinger parlait d'une action mutuelle entre le sujet et l'objet lors d'une mesure quantique, « à condition de bien préciser ce qu'on entend par sujets dans ce cas : rien d'autre qu'un fragment du monde matériel pouvant inclure le corps de l'expérimentateur » (Schrödinger 1930, Bitbol 1992). L'une des plus grandes motivations qui furent à l'origine de l'établissement des interprétations alternatives de la mécanique quantique est de restaurer une objectivité au sens fort. La théorie de l'onde pilote possède par exemple toutes les caractéristiques de l'objectivité classique, avec le sujet connaissant qui peut se représenter l'état du monde en l'absence d'un quelconque observateur. L'option la plus acceptée parmi les philosophes¹⁶ analytiques actuels est le physicalisme, position selon laquelle l'esprit « survient¹⁷ » sur la matière. Par exemple, le physicien Richard Feynman estime que toute réalité -incluant l'esprit et la conscience- est faite d'atomes (Feynman 1970). C'est une forme de physicalisme, dans lequel chaque phénomène a une origine matérielle à laquelle il peut être relié et où toute subjectivité, toute forme de conscience est un produit, un corrélat, ou une instantiation d'un processus physique. Les observateurs sont alors des systèmes physiques comme les autres, auxquels, au moins en droit, doivent pouvoir s'appliquer les principes physiques les plus fondamentaux. Le problème est alors de comprendre pourquoi il semble si difficile d'énoncer les lois de la mécanique quantique sans faire référence, au moins implicitement, à un observateur. Le premier à avoir eu véritablement conscience de ce problème est sans doute John Von Neumann. Dans sa théorie de la mesure quantique, celui-ci fait remarquer que le processus de mesure peut lui-aussi être analysé de manière quantique. C'est-à-dire que l'on peut attribuer une fonction d'onde au système complet « objet microscopique + appareil de mesure » ! Après l'interaction entre ces deux sous-systèmes, les

¹⁵ Heisenberg tenait une position relativement proche du positivisme dans le sens où il s'intéressait à ce qui est accessible par l'expérience - les phénomènes - et estimait que la mécanique quantique n'est pas censée décrire la réalité.

¹⁶ L'enquête de Philpapers (November 2009 : <http://philpapers.org/surveys/>) pose comme question : « Mind: physicalism or non-physicalism? » Les réponses des philosophes (plus de 900 interrogés) sont : physicalisme 56,5%, non-physicalisme 27,1%, autre 16,4%.

¹⁷ La survenance (« supervenience » en anglais) est un terme de philosophie analytique. Une série de propriétés A survient sur une série de propriété B dans le cas où deux choses ne peuvent pas différer par rapport aux propriétés A sans aussi différer par rapport aux propriétés B ; dire que l'esprit survient sur la matière consiste à dire que deux états mentaux ne peuvent pas différer s'ils correspondent aux mêmes états physiques. Autrement dit, par exemple, les états physiques du cerveau d'un individu déterminent univoquement ses états mentaux.

deux objets peuvent se trouver dans un état superposé, mais, on peut tout à fait mesurer l'état de l'appareil de mesure par un second appareil. Dans ce cas encore, on peut attribuer une fonction d'onde au système « objet microscopique + appareil de mesure 1 + appareil de mesure 2 ». Encore une fois, le système dans sa globalité, pourra se trouver dans un état superposé. On peut continuer cette série avec un troisième appareil, puis ainsi de suite, entamant une régression à l'infini, mais au bout du compte, cependant, un observateur visualisera les objets macroscopiques dans des états déterminés. Quand et comment la réduction du vecteur d'état a-t-elle lieu ? Commentant la théorie de la mesure de Von Neumann, Edmond Bauer et Fritz London estiment que c'est la faculté d'introspection de l'observateur qui est à l'origine, de la réduction de la fonction d'onde (London and Bauer 1939). Le rôle de la conscience dans le processus de mesure va être défendu encore plus explicitement au début des années 60 par le prix Nobel de physique Eugène Wigner. Ce dernier regarda la conscience comme un élément de l'esprit, et ainsi l'esprit « collapsant » la fonction d'onde devint un exemple de l'emprise de l'esprit sur la matière, le monde de l'esprit agissant sur le monde de la matière. Il considère que la conscience est, d'une manière drastique, complètement irréductible à des processus physiques. Mais une telle action est-elle possible sans tomber dans le piège du dualisme : quel est le médiateur de l'interaction ? Qu'arrive-t-il à la loi de conservation de l'énergie si une telle interaction survient ?

Pour Roger Penrose, physicien et mathématicien de renom, ce sont des processus quantiques et notamment le processus de réduction du paquet d'onde qui entrent en jeu dans le phénomène de la conscience (Penrose 1994) . Il existe des postures plus radicales encore au sujet de l'observateur. Le physicien Amit Goswami, d'origine indienne mais vivant aux Etats-Unis, a écrit plusieurs ouvrages de vulgarisation sur la théorie quantique. Pour lui, la conscience intervient dans la mesure. Il explique que la conscience est antérieure à la matière et qu'elle est disponible même au sein de la matière dans des formes plus ou moins densifiées – et inversement. Voici un passage que j'ai traduit de la préface 2014 de son livre *Quantum creativity* (Goswami 2014) « La source de ma confusion était le physicien Richard Feynman, ou plutôt sa position exprimée dans *The Feynman Lectures in Physics*, que toute réalité (incluant l'esprit et la conscience) est faite d'atomes. Comme tous les physiciens, j'étais convaincu de cela. Il n'y avait pas de place pour *Brahman* - un socle d'existence autre que la matière - dans ma philosophie de physicien. Mais un phénomène épicausal n'a pas d'efficacité pour faire s'effondrer la fonction d'onde ! Retour à la case départ. Et je ne pouvais pas abandonner l'idée que la conscience fasse s'effondrer la fonction d'onde. Même si je savais que c'était une sorte de solution ». Il finit par adopter une posture supra-matérielle, dans laquelle la conscience agit sur la matière, et donc a la possibilité de faire s'effondrer la fonction d'onde.

De même que pour la question de l'objectivité, il n'est pas impossible, en optant pour une des interprétations alternatives de la mécanique quantique, ou du moins en supposant qu'une de ces interprétations est la bonne, de continuer à soutenir une position physicaliste. De nombreux physiciens matérialistes d'inspiration marxiste penchèrent, après la seconde guerre mondiale, pour des théories du type bohémienne (par exemple Jean-Pierre Vigié) tandis que les défenseurs modernes de l'interprétation d'Everett (Wallace, Saunders ou Deutsch) se placent aujourd'hui dans une perspective explicitement physicaliste.

Pour les théories GRW et MWI, la fonction d'onde universelle est également une représentation objective de la réalité. Dans le cas particulier de MWI, les différents observateurs sont cantonnés à la « branche » de la fonction d'onde dans laquelle ils se situent, et n'ont donc aucun accès épistémique aux autres branches. Mais si un tel observateur connaissait les conditions initiales de l'univers (ou plutôt du multivers), il pourrait en principe connaître l'état objectif de celui-ci.

La théorie de la décohérence vient souvent à la rescousse des physiciens sceptiques (sur le rôle de la conscience), en expliquant qu'à partir d'un certain degré de mise en relation avec d'autres particules, l'état de la particule observée n'est plus superposé, autrement dit on passe des lois quantiques aux lois classiques. Donc, ce ne serait pas tant l'observateur dont le rôle serait central, mais la question du nombre d'objets en relation.

Les différents degrés d'objectivité

La question de la subjectivité en science a été débattue en épistémologie¹⁸ et notamment sur la question des différents degrés d'objectivité. D'Espagnat (1994) définit les déclarations de la physique quantique comme « faiblement objectives », contrairement aux déclarations « fortement objectives » de la physique classique. Pour lui, « fortement objectif » signifie que les propriétés d'un système peuvent être définies même en l'absence d'un observateur, comme par exemple l'existence de la lune qui ne dépend pas du promeneur nocturne. « Faiblement objectif » signifie que les propriétés d'un système ne peuvent être établies qu'en fonction de l'observation qui en est faite, l'objectivité résidant dans le fait que ces propriétés seront les mêmes pour n'importe quel observateur. Pour comprendre une telle position, nous pouvons nous référer à la théorie des qualités du philosophe John Locke. Ce dernier a distingué les qualités secondes (telles que la couleur ou la saveur d'un objet, qui dépendent des propriétés intrinsèques à l'objet mais également des systèmes sensitifs des observateurs) des qualités premières (qui elles, sont uniquement intrinsèques à l'objet). Jusqu'à l'apparition de la mécanique quantique, les physiciens ont toujours considéré que la physique rendait compte des qualités premières des objets qu'elle étudiait. C'est cette vision des choses qui est remise en question par des physiciens comme d'Espagnat, qui considèrent qu'afin de comprendre correctement la théorie quantique, nous n'avons pas d'autre choix que de considérer toutes les propriétés que nous attribuons aux objets physiques (comme la position, l'énergie, etc.) comme des qualités secondes, c'est-à-dire des propriétés qui entretiennent un rapport fondamental avec le sujet observateur. Nous nous accordons par exemple entre êtres humains pour dire qu'un objet est rouge, bien que la couleur ne réside pas dans l'objet lui-même, mais dans la relation que nous entretenons avec lui. De la même manière, selon cette façon de comprendre la mécanique quantique, la position d'un objet n'est pas une propriété intrinsèque de celui-ci mais simplement la relation que cet objet entretiendrait avec n'importe quel observateur présent. La physique classique se réfère aux choses en elles-mêmes, sans référence à l'activité humaine, elle est donc fortement objective. Parce qu'elle implique essentiellement l'interaction humaine, la physique quantique n'est valable qu'en relation avec un observateur, donc faiblement objective.

Elle peut aussi être considérée comme subjective, si l'on considère qu'elle produit des résultats différents en fonction de l'observateur.

Résumons donc :

- fortement objectif : vrai sans nécessité d'un observateur
- faiblement objectif : vrai quelque soit l'observateur
- subjectif : vrai du point de vue d'un observateur

¹⁸ Edgar Morin est l'un des philosophes contemporains à avoir plaidé pour la prise en compte du sujet connaissant, à laquelle s'impose la nécessité d'une théorie scientifique du sujet.

Classement des physiciens sur les degrés de l'objectivité (voir thema objectif/subjectif)

Cas 1. Fortement objectif : l'observateur est un objet physique comme les autres, et ne joue pas de rôle particulier.

Cas 2. Faiblement objectif : L'observateur physique joue un rôle spécifique dans l'application du formalisme

Cas 3. Subjectif : L'observateur joue un rôle distinct, pas seulement l'observateur physique.

Physiciens indiens

Conscience non matérielle et influence forte de l'observateur

Nous regroupons ici les physiciens indiens qui revendiquent un statut spécifique à l'observateur ou à sa conscience.

- Le physicien L.L estime ainsi que : « your mind is made to see reality ». Il pense que, comme le temps est une perception de la conscience, le temps, l'espace et la conscience sont connectés.
- Une autre physicienne, estime la conscience est non matérielle (« Conscioueness can not be explained by matter ») et attribue un grand rôle à l'observateur « The observer plays a role. If he tries to observe, there is a state. » Donc, à caser dans le 3-subjectif.
- L.Z estime également que la mesure modifie l'état du système, ce qui est cohérent avec ses autres réponses. “They acquire properties when you measure. They had it before, but with uncertainty principle, and you change it when you measure it”. Donc, cas 3-subjectivité.
- Dans ce groupe des non-matérialistes, il y a également L.X. Pour lui, la conscience est différente de la matière, elle peut agir sur la matière, par volonté et action des individus et l'esprit n'est pas fait de la même matière que le corps. Il estime que la connaissance est impossible sans prise en compte de l'observateur. En mécanique quantique, il y a pour lui « collapse » de la fonction d'onde lors du contact avec l'appareil de mesure, la fonction d'onde prend des valeurs propres. La prise en compte de l'observateur existe aussi, dit-il, en physique statistique -son domaine de recherche-, mais reste très dur à modéliser, du fait du grand nombre de variables. Subjectivité (3).
- U.X, post-doctorant en théorie des cordes estime que la connaissance n'est pas possible sans prise en compte de l'observateur, que la conscience diffère de la matière. Il aimerait faire plus de travaux en physique corrélés à la conscience, comme Roger Penrose, dit-il. Nous le classons en cas3 : subjectivité.
- Il y a des exceptions, le physicien R.I, par exemple estime que la conscience de l'observateur ne joue aucun rôle, que l'état des particules est défini avant la mesure, et cependant il estime que la conscience et la matière appartiennent à deux réalités distinctes. Et ces positions ne lui semblent pas incohérentes entre elles. Cas 2-objectivité faible.
- Quelques autres physiciens se prononcent en faveur d'une conscience non matérielle, sans s'exprimer clairement au sujet de l'observateur et de la mesure, souvent par manque de connaissance du sujet. K.S parle de “superconscience” : “I don't know what is the good meaning, it is in old Sikh text”. Il estime que la science ne peut pas accéder à toute la réalité, car il y a la dimension de l'esprit, une partie subjective. Donc, cas 3- subjectivité.
- La physicienne U.T dit que, pour elle, le cerveau est matériel, mais pas la conscience. Elle pense qu'il y a d'un côté la manière de prendre conscience de sa propre existence (« awareness »), et de l'autre la connaissance sur la matière. Ce sont deux modes de savoirs différents mais qui interagissent. Pour autant elle ne se prononce pas sur le rôle de

l'observateur dans la mesure, par manque de connaissance sur les interprétations de la physique quantique, dit-elle. Cas 2- objectivité faible.

- Et d'autres physiciens s'expriment sur l'interprétation quantique, mais pas sur la conscience ! La théoricienne R.W estime que l'observateur comme un système quantique complexe. Sur l'état du système avant la mesure, elle estime que l'état n'est pas défini si elle ne peut pas le décrire "Before measurement, it is not defined. There is something, I cannot say what but it is not quantified. When you measure, the wave function collapses in a particular state, what does it mean ? I make a measurement and this thing is here, for me it is reality. But this thing could have been in a other 25000 different state till a make a measurement. This is very difficult to understand ». Donc, selon elle, l'état quantique n'est pas défini avant la mesure. Concernant la place de la conscience, elle ne veut pas se prononcer. Elle estime par contre que la science est toujours soumise aux limitations de la connaissance. Elle est donc difficile à situer dans nos cases. Peut être 2, objectivité faible.
- Le post-doctorant I.P. opte pour une conscience non matérielle, une réalité non totalement connaissable par la science (il cite les émotions par exemple) et un état du système non défini avant la mesure effectuée par un observateur. Cas 3-subjectivité.
- L.B et L.J ont le même genre de réponse, elles citent l'espoir comme exemple de réalité non connaissable.
- K.L a le même genre de réponse et insiste sur le rôle spécifique de l'observateur. "Est-ce la volonté de l'observateur qui donne une valeur à la mesure ? pourquoi pas, dit-il. En même temps, il estime que l'interprétation de Copenhague donne un rôle trop important à l'observateur. Posture ambiguë : objectivité faible (cas 2) voire subjectivité (cas 3).

Il est délicat de tirer une généralité à partir de quelques exemples, et nous ne le ferons pas. Nous constatons que classer nos physiciens dans nos trois cases n'est pas si simple que cela. Par contre, il semble apparaître une certaine relation entre le fait de situer la conscience sur un plan non matériel et le fait de donner un rôle spécifique à l'observateur dans la mesure. C'est cela que nous allons continuer à approfondir.

Conscience matérielle et pas de rôle spécifique de l'observateur

Analysons à présent la posture de ceux qui estiment que la conscience est uniquement matérielle. Est-ce que ce sont les mêmes qui n'accordent pas de spécificité à l'observateur dans la mesure ?

- La post-doctorante L.K se situe n'attribue pas de rôle de physique particulier à l'observateur même s'il intervient dans le formalisme de la théorie quantique. Elle estime par ailleurs que matière et conscience ne sont pas des aspects séparés de la réalité. Elle trouve qu'il est difficile de se positionner sur ces questions d'un point de vue de physicien : « I can not separate that – le fait d'être physicienne- from my thinking », dit-elle. Concernant l'état du système avant la mesure, « I would say yes, it could always have some sorts of properties independent of measurement. Collapse in quantum mechanics is a tool. Reality could be something very different but things exist in theirselves". Elle est donc un exemple typique de matérialiste qui n'attribue pas de rôle spécifique à l'observateur, ni à la mesure, les propriétés du système existant avant la mesure. Donc 1-objectivité forte voire 2- objectivité faible.
- Le doctorant J.L l'est aussi : « I think the observer is a classical object. He plays a classical role. He is not affecting the system. If I don't observ a phenoemena it doesn't mean that it didn't exist. Lui aussi estime que la conscience est matérielle et que les propriétés du système sont superposées avant la mesure. Il dit aussi : "As human beings we cannot solve the problem because we are part of it." Il dit donc que, même si on

pouvait connaître scientifiquement la part de nous qui connaît, il faudrait connaître la part de nous qui connaît qui connaît et on remontrait à l'infini. Donc 2-objectivité faible.

- Le théoricien W.M trouve que l'observateur comme système quantique complexe. "When I measure, it looks like a collapse, but in fact particle is coupled with the instrument, also in quantum situation. This is the problem of the frontier between classical and quantum laws". D'après lui, il faut concevoir le système globalement, avec l'observateur qui voit, et qui ne peut avoir accès au chat à la fois vivant et mort (dans l'expérience de pensée de Schrödinger). Il ne peut en voir qu'un « I can see only one ». Soit vivant soit mort. « If there is no observer, then we have a linear combination ». Sa position sur la conscience est qu'elle est matérielle." Well, I believe that. This is a question of believe, not a proof". Et sur l'état du système avant la mesure, il estime que ce n'est pas une question essentielle, comme le dit Feynman dans son troisième volume, le physicien n'a pas besoin de savoir cela. La fonction d'onde lui suffit ! Il pense cependant que tout n'est pas connaissable par la science, le libre arbitre par exemple. Objectivité faible ou forte (1 ou 2).
- Le théoricien des cordes U.J considère l'observateur comme un instrument. La conscience est, pour lui, un phénomène issu de l'évolution des êtres vivants, c'est un phénomène émergent. Tout est matière. Il ne donne pas de réponse claire sur l'état avant la mesure, mais dit que la fonction d'onde est déterministe, ce qui laisse supposer que l'état est déterminé dans sa représentation. Ce qui confirme donc que l'observateur n'a pas de statut spécifique. Objectivité forte (1).
- Quelques-uns sont dans une position intermédiaire, ayant une conception matérielle de la conscience et adhérant à une indétermination des états avant la mesure. Pour la physicienne en nucléaire Y.N, il y a une influence de l'observateur, mais c'est simplement l'acte –matériel - d'observation qui agit sur le système. La conscience est un concept, dit-elle. A propos de l'état du système avant la mesure, « some are defined, some are acquired during the measurement. You can not say that all are defined before the measurement and you can not say that they acquire all properties by the measurement. So it is a mixed situation". Elle pense aussi que tout est accessible à la science. On peut la classer dans l'objectivité forte (1).
- T.S est l'un de ceux qui placent l'objectivité comme critère le plus important de scientificité, tout en précisant qu'il sait qu'au niveau quantique, l'observateur a une influence. Il pense que la conscience émerge de la matière. Et pour lui, les objets ne sont pas définis avant la mesure. Objectivité forte (1)
- A.J soutient les mêmes postures. La conscience est un phénomène émergent de la matière. L'objectivité est le critère le plus important en science, le fait qu'il existe quelque chose d'indépendant de nous est ce qui nous permet de faire de la science. Et d'après lui, l'état du système n'est pas défini avant la mesure. Tous deux pensent cependant qu'une partie de la réalité n'est pas connaissable par la science.
- J.T se revendique matérialiste. Pour lui, la science pourrait potentiellement tout connaître, tout mesurer. Il n'y a pas de propriétés avant la mesure, et pas de propriété après. Objectivité forte (1)

Nous pouvons observer que ces réponses vont dans le sens d'un constat assez général : la perception que la conscience est différente de la matière entraîne le plus souvent une spécificité au rôle de l'observateur dans la mesure, qui n'est pas uniquement celui d'un objet macroscopique qui fait s'effondrer la fonction d'onde mais un peu plus. Par ailleurs, nous constatons qu'ils sont très peu de physiciens à adopter l'attitude que l'on retrouve dans certains ouvrages de vulgarisation ou de mysticisme quantique, à savoir donner à la conscience la capacité de « choisir » l'état de la particule. Pour eux, soit l'observateur ne joue pas de rôle spécifique, soit s'il en joue un, il ne peut pas pour autant « choisir ».

Cette classification est quelque peu dichotomique. Mais elle décrit assez bien les deux grandes postures adoptées par les physiciens. Quelques uns sont indécis mais ils sont en fait très peu nombreux. On ne peut pas dire que ceux qui adoptent une posture « transcendaliste » (conscience non matérielle) estiment que c'est la conscience qui provoque l'effondrement de la fonction d'onde, ils évoquent simplement l'observateur, sans spécifier si c'est sa conscience ou sa matérialité qui provoque l'effondrement. Comme on l'a vu dans les exemples, ils sont très peu nombreux à dire que la conscience provoque un effondrement de l'état du système.

Nous allons poursuivre cette classification, afin déjà de pouvoir classer les physiciens et de mettre à jour une éventuelle différence entre nos deux groupes, mais aussi pour vérifier si le lien se confirme entre une posture subjective (rôle de l'observateur) et l'adhésion à une forme de non matérialité de la conscience.

Physiciens français

Conscience non matérielle et influence de l'observateur

- Pour le théoricien X.U, la matière et l'esprit émergent d'une réalité première. Croyant, il estime que Dieu a créé un « substrat » qui contient la matière et la conscience. Pour autant, il n'estime pas que c'est la conscience qui « collapse » la fonction d'onde, l'observateur n'est qu'un système quantique complexe : « lorsque l'appareil interagit avec la particule, la matrice densité code pour l'information sur un même objet, de deux manière différentes selon l'observateur, tout comme on pourrait avoir deux bulletins météo sur une même météo ». Il pense que c'est la mesure qui donne le résultat. (Objectivité faible-2)

- Pour E.I aussi, matière et conscience émergent d'une réalité première qui n'est ni l'une ni l'autre. L'observateur est aussi un système quantique complexe. L'état n'est pas défini avant la mesure, car il est superposé. Le chercheur doit essayer de limiter son rôle physique (objectivité faible -2).

- X.Z accorde un grand rôle au contexte, et l'observateur en fait partie, tout comme l'environnement. Matière et conscience sont pour lui des noms qu'on donne à des expressions de l'expérience « l'une et l'autre sont deux faces d'une même réalité expérientielle ». Il a aussi dit que « la raison ne peut pas accéder à sa propre source. » A l'occasion d'une intervention grand public, il explique qu' « il n'y a aucun argument absolument convainquant, dans la faveur de l'idée que la conscience dérive d'une base matérielle ». Nous pouvons donc le classer dans les non-matérialistes, même si sa pensée semble plus complexe. L'état du système n'est, pour lui, pas défini avant la mesure (objectivité faible -2).

- J.Y se dit « spiritualiste » : il pense que la matière émerge d'une conscience (pas de la sienne seulement). « J'ai été élevé dans Copenhague, dit-il, donc l'état n'est pas déterminé avant la mesure ». Pour W.W la conscience émerge du matériel, mais le dépasse et déborde sur la réalité non arpentable. L'observateur joue un rôle physique comme système quantique complexe. « L'idée que la conscience de l'observateur influence la mesure (effondrement de la fonction d'onde) est a priori farfelue, dit-il, à moins de considérer que la conscience intervient sur la réalité arpentable ». Pour lui, certaines propriétés sont définies avant la mesure mais pas toute (la charge oui, mais pas la vitesse). Il dit par ailleurs qu'il existe deux réalités : une arpentable et mesurable, l'autre non, qui est chaotique ou en tous cas non mesurable, ce qui ne veut pas dire qu'elle n'est pas connaissable. (Objectivité faible-2)

- Pour P.X, la matière et l'esprit émergent d'une réalité première qui n'est ni l'une ni l'autre. Il dit que « les scientifiques ne sont pas moins spirituels que les autres ». L'observateur joue un rôle physique distinct : clairement par effondrement de la fonction d'onde par la conscience, il évoque l'expérience de Serge Haroche. Pour lui, c'est bien la mesure qui donne

leurs propriétés aux particules. Il pourrait donc être classé dans le cas subjectivité-3. Il estime cependant que toute la réalité est potentiellement connaissable par la science. Donc, peut-être cas 2.

- Pour J.R, la matière et l'esprit sont des réalités fondamentales mais elles émergent d'une réalité première qui n'est ni l'une ni l'autre, l'observateur est un système (quantique) complexe et aussi Joue un rôle physique distinct. « Lorsqu'un système quantique interagit avec un système classique, ce dernier lui impose son déterminisme. Je ne sais pas mais mon penchant est que « oui, dans tous les cas les états sont définis indépendamment de la mesure ». Il pense par ailleurs que tout est potentiellement connaissable par la science. Donc, objectivité faible-2.

On voit dans ces exemples qu'en fait, un seul physicien se prononce en faveur de l'effondrement de la fonction d'onde par la conscience. Les autres, même s'ils reconnaissent le caractère transcendant de la conscience, situent l'observateur comme un système physique dont l'assemblage collapse le système.

Conscience matérielle et pas de rôle spécifique de l'observateur

- Selon le physicien U.Y, la conscience est matérielle, elle émerge du monde physique. Concernant l'état du système avant la mesure, les particules ont des propriétés, mais la mesure les modifie. Dans le cas simple de la superposition d'état du spin, la particule est enchevêtrée avec l'appareil lors de la mesure, elle apparaît donc pour l'appareil dans un état propre ». Il est ouvert à l'idée des mondes multiples d'Everett, et dans ce cadre, au cours de la mesure, la particule se sépare, se dédouble, l'observateur aussi. « Dans l'interprétation d'Everett, les états continuent d'exister, dit-il ». Cas 2 – objectivité faible.
- La physicienne U.U envisage la conscience comme matérielle. Elle estime que faire émerger la matière de la conscience risque de conduire au solipsisme, adopter un réalisme naïf, est plus fructueux et moins déprimant. « Je suis assez constructiviste dans la notion de la réalité, je ne crois pas au réel naïf, je crois en notre capacité à extraire de l'information. On peut choisir suivant sa sensibilité où on va mettre le curseur, pour moi, il plus réconfortant de mettre le curseur plus près du réel dur ». Elle adhère à une interprétation de la théorie quantique qui attribue beaucoup d'importance au contexte de la mesure, mais pas spécifiquement à l'observateur. Pour, dit-elle, garder un maximum d'objectivité. Elle est donc sur le curseur de l'objectivité assez proche d'une objectivité forte. Cependant, elle estime que les scientifiques ont une psyché, et donc, que ça influe forcément. D'ailleurs, concernant l'état du système avant la mesure, elle estime qu'il n'y a pas d'objet indépendant : « ils sont tous dans un état de mesure » ! Donc, objectivité faible à forte !
- Pour l'astrophysicien U.Z, la conscience résulte du réel, mais la matière est appréhendée par la conscience. Plutôt matérialiste donc. Avant la mesure, estime-t-il, « on ne peut rien dire. Il n'y a pas de vérité. Entre une particule à 3N dimensions, et 3N particules, il n'y a pas de différences. Il n'y a pas de réel unique sous jacent ». Il dit aussi qu'il est impossible de décrire la conscience car elle possède un niveau de complexité trop important. Il est difficile de classer ce physicien sur une échelle d'objectivité mais au vu de ses réponses, je le classerais dans une objectivité faible.
- F.I est matérialiste, il pense qu'il n'y a pas de position et de vitesse définies avant la mesure selon le principe d'Heisenberg, mais que ce constat n'a pas de sens au niveau micro. W.I est matérialiste. La conscience est pour lui un pôle de l'infiniment émergent. Il n'y a pas besoin de rajouter d'autres lois. Les états ne sont pas définis avant la mesure.

- « Electrons et neutrinos ne préexistent pas dans le neutron avant la désintégration beta. Le champs quantique préexiste et peut se manifester ». Objectivité forte.
- Le physicien P.Q a une vision matérialiste de la conscience et, pour lui, l'observateur ne joue pas de rôle différent de celui d'un autre objet physique. Mais l'acte de mesure fixe des valeurs aux propriétés de la particule. Objectivité faible.
 - Pour P.Z, la conscience émerge aussi de la matière. La matière est un ensemble de structures, de "champs" qui interagissent entre eux, et dans l'objet qu'on appelle le cerveau produisent un « je » qui existe. « Il est difficile de soutenir que c'est la conscience qui collapse la particule, dans la mesure où tu peux faire des tas d'expériences en double aveugle » dit-il. Après réflexion, il estime que dans chaque expérience, les résultats des mesures seront différents. Il estime aussi qu'une partie non quantifiable existe dans le réel, que le système le plus complexe est le cerveau humain. « Je ne suis pas sûr qu'un cerveau humain puisse comprendre un cerveau humain ». Il se dit inspiré par le bouddhisme zen où la réalité échappe à notre appréhension discrète, parcellaire, conceptuelle. Ca lui a forgé son image de la réalité, et de la connaissance. Objectivité faible-2.
 - L.P. dit « Je suis matérialiste ». Pour lui, l'observateur joue un rôle mais il ne connaît pas l'histoire de l'effondrement de la fonction d'onde par la conscience. « Je récite bien mes leçons, raconte-t-il : l'observateur va faire une mesure, il va perturber le système. Je ne le vois pas forcément comme ça. Si je mesure la position d'un objet, je vais avoir moins d'information sur sa vitesse. L'influence de l'observateur peut être minime comme c'est le cas dans les détecteurs où l'on étudie avec de très faibles énergies des particules de haute énergie. C'est le cas dans les détecteur on étudie avec très faibles énergies des particules de haute énergie ». Avant la mesure, il estime que les propriétés sont définies en ce qui concerne la charge par exemple mais pas la position. Objectivité forte ou faible-1 ou 2.
 - Y.Z. se dit également matérialiste. « Si influence il y a c'est appareil, ce qu'on mesure ce n'est pas la position de la particule mais le résultat de l'interaction avec l'appareil. On mesure le résultat d'une interaction, l'interaction n'existait pas avant. En physique classique, on néglige l'appareil de mesure, par exemple quand on étudie le déplacement d'une balle de tennis avec un appareil photo, on néglige l'influence de l'appareil photo ». Concernant l'étendue de la connaissance scientifique, pour lui, tout est potentiellement connaissable. Objectivité forte 1.
 - Le doctorant X.I se revendique matérialiste. Concernant l'état avant la mesure, il dit qu'on ne peut pas mesurer la position et la vitesse simultanément. « Qu'on ne puisse pas les mesurer simultanément c'est une chose. Qu'elles n'existent pas, je ne sais pas. Elles sont délocalisées, tant qu'on ne les a pas mesurées, elles ne sont nulle part et partout. » Ca revient à dire que l'état n'est pas défini avant la mesure. Pareil pour son collègue E.T qui estime que « Ca n'a pas de sens, de dire « la particule est là » avant la mesure. Donc, tous les deux : objectivité faible-2.
 - J.N. pense que tout peut être connaissable par la science donc la conscience aussi, qui a une base matérielle. Les états sont définis avant la mesure. Objectivité forte-1.
 - Le physicien U.R ne voit pas « comment faire sans base matérialiste ». Même s'il lui est difficile de donner des bases matérielles à la conscience, il pense qu'un ordinateur pourrait la décrire entièrement. Il estime qu'avant la mesure, les états sont définis. Nous le classerons donc sur un degré d'objectivité forte.
 - La physicienne L.I se dit assez matérialiste pour la conscience et malgré ses réflexions métaphysiques, n'arrive pas à penser autrement. L'observateur n'intervient pour lui dans la mesure pas plus que tout autre objet macroscopique. L'état n'est pas défini avant la mesure : « l'électron est aux deux endroits à la fois. La théorie de la décohérence explique que le système évolue très vite vers une situation qui n'est pas superposée, par interaction

avec l'environnement ». Dans la question au sujet de la réalité, elle dit cependant qu'on ne peut pas modéliser la conscience. Donc, plutôt une objectivité faible.

- Pour la physicienne H.I, la conscience émerge de la matière : « je vais faire ma scientifique, je suis très matérialiste ». L'observateur joue un rôle dans le formalisme mais pas de rôle physique important sauf en tant qu'appareil de mesure (réponse c). « Je vois mal comment mon état quantique pourrait déterminer un état quantique d'une particule. » Elle estime que l'état est défini avant la mesure. « La particule fait son chemin indépendamment de savoir s'il y a un physicien au LHC qui la mesure ou pas. Quand on observe ce genre de particule, on va faire leur trajectoire, ce qui nous permet de remonter à sa charge, son spin. Ce n'est pas parce qu'on la mesure ici qu'on modifie sa masse, sa charge, son spin, son état. J'ai beaucoup de confiance dans l'expérimentation. On met plein de plaques photos empilées, si un événement se produit, on va reproduire la trajectoire selon les différentes plaques, les différents temps. La trajectoire est cohérente. »(H.C. 16. 21) Je la classe donc dans une objectivité forte.
- X.K. se dit matérialiste, mais pas trop. Pour lui, la science ne peut pas accéder à toute la réalité. Il aurait, dit-il, tendance à penser que les valeurs des propriétés de la particule sont définies indépendamment de la mesure. « C'est une transposition du monde macro au monde micro. Cette table a ses dimensions... » Dans son travail, il a mis en confrontation des niveaux d'énergie et estime qu'ils existaient indépendamment de sa mesure. Donc, objectivité faible.
- Pour N.I, la conscience est une conséquence de la raison. L'influence de l'observateur se produit non par la conscience, mais par les sens, par son corps physique. C'est pareil si c'est un chien qui mesure. Sur l'état avant la mesure, il n'accepte pas l'idée que l'état ne soit pas défini avant la mesure. Il pense qu'à cause de cela, la mécanique quantique n'est pas complète. « Je crois certainement que le monde était là avant moi ! » Il croit aussi que la science pourrait appréhender tout réel, rien n'est potentiellement inconnaissable. Donc, objectivité forte.
- P.X. se dit matérialiste « la conscience émerge de la matière. Ce qui n'enlève rien à la valeur de la conscience. Sur l'état avant la mesure, il estime que « certaines propriétés ne dépendent aucunement des circonstances de leur observation ». Selon lui, celui qui connaît est limité dans sa capacité à connaître. Objectivité forte ou faible.
- U.N. opte pour la matérialité de la conscience, il estime par ailleurs que la superposition, c'est une statistique, que l'état est déterminé avant la mesure. Il est dans une objectivité forte.
- Y.R a une conception matérialiste. « Je comprends cela de la manière suivante, dit-il : ils ont des possibilités, affectés d'une probabilité. On ne peut pas dire laquelle c'était. Cet état est quelque part avant. C'est ma perception ». Donc, il s'agit d'une objectivité forte.

Tout comme pour les physiciens indiens, on trouve des physiciens français qui ne se prononcent pas sur cette question. J.J, théoricien en physique nucléaire ne se prononce pas sur la conscience. Sur la question de la mesure, il estime que « la connaissance de la position et celle de la vitesse de la particule sont incompatibles, mais sinon, dit-il les propriétés sont définies avant et indépendamment de la mesure. Il y a quand même des propriétés, quand on veut les mettre en évidence, on modifie le système ». Son objectivité reste forte. Certains sont plus difficilement classables, comme J.I, qui opte pour une conscience matérielle, mais une part de réalité non connaissable. Il estime que l'état n'est pas défini avant la mesure. Donc, il relève plutôt d'une objectivité faible.

Annexe 8. Éléments concernant les « physiques védiques »

Cette annexe est issue d'un texte élaboré pour un ouvrage dirigé par l'Ecole des Hautes en Sciences Sociales sur les *vedic sciences*. Il est en attente de suggestions d'améliorations. Nous n'avons que peu évoqué les « physiques védiques » dans le corps de thèse, car ce sujet n'est pas directement en lien avec la problématique soulevée. L'enjeu des physiques védiques concerne le rapport entre science moderne et traditions, et se place au cœur des questions identitaires que nous avons quelque peu évoquées dans le chapitre VI (discussion générale).

L'ambition des « physiques védiques » illustrée par deux références

Introduction

Les « physiques védiques » sont des notions de physique contemporaine contenues dans certains anciens textes indiens savants et/ou sacrés. L'un des ouvrages les plus anciens de physique védique date de 1911, *The positiv science of the ancient Hindus*, de B.Seal. L'auteur, un philosophe des sciences Indien, y explore différents textes sanskrits classiques et en extrait ce qui lui semble constituer des éléments scientifiques, entendu dans le contexte de son époque, très positiviste. Lorsque j'ai lu cet ouvrage, il m'a semblé qu'il serait utile de « vérifier » ce qui dans ces anciens textes pouvait avoir une valeur scientifique, ce qui pourrait être profitable à la fois pour la science et pour l'histoire : les civilisations védiques auraient-elles été dotées de connaissances scientifiques oubliées ? Or, je me suis vite rendue compte de la complexité de ce genre d'études. En effet, un texte ancien sanskrit ne peut être isolé de son contexte, et les mots qu'il assemble peuvent ouvrir la voie à de nombreuses interprétations. J'ai ensuite repéré d'autres ouvrages, plus récents, qui cherchent aussi à faire ce rapprochement entre textes anciens et physique moderne. Je me suis rendue compte qu'il existe une grande diversité de sources possibles, et d'interprétations possibles, selon les auteurs. Parfois une même source peut être interprétée dans des sens différents, et mise en rapport tantôt avec le Big-bang, tantôt avec la physique quantique.

Je n'ai pas ici pour objectif de fournir une opinion sur la validité de ces interprétations. Je me propose plutôt d'en fournir une description : description de l'œuvre, de l'auteur, et du contexte social, politique, culturel et scientifique dans lequel elle s'insère. Pour cela, j'ai choisi deux exemples, deux textes sur des sujets très différents. L'un publié en 2009, écrit par un physicien et un sanskritiste indiens est tout à fait particulier car il interprète un texte annoncé comme très ancien (de l'époque védique) proposant une explication de l'évolution des galaxies, mais surtout la description d'un spectromètre, instrument qui n'a pas été inventé en Europe avant le XIX^{ème} siècle.

L'autre, publié en 1986, a un objet bien différent, il s'intéresse à la mise en correspondance des théories de physique moderne comme la relativité ou la mécanique quantique, et les textes védiques, en particulier du Vedanta.

Le lecteur se posera probablement une question : les textes védiques contiennent-ils réellement des connaissances physiques modernes ? C'est-à-dire : peut-on accorder du crédit à ces tentatives de résurgence scientifique dans des textes anciens ? Nous n'allons pas donner de réponse générale à cette question. Mais la description des matériaux devrait donner des pistes aux lecteurs intéressés. Nous allons donc nous concentrer sur les matériaux et les situer dans leur contexte de production. Ce qui va nous intéresser, c'est davantage de tenter de décrire les ambitions, les sujets, les acteurs de ce mouvement centré autour de l'interprétation par la physique moderne d'anciens textes Indiens.

Nous avons choisi ces deux ouvrages car ils nous semblent témoigner de la diversité des enjeux et des acteurs dans ce domaine, et qu'ils permettent d'illustrer les questions soulevées.

Préambule : ce que l'on entend par « védique » et par « physique » dans « physique védique »

Il est d'abord utilisé d'explicitier ce que l'on entend par « védique » lorsque l'on parle de physique védique ? *Veda* dérive de *vid*, qui signifie notamment « savoir » en sanskrit. Il est l'un des mots désignant les saintes écritures, ou le savoir sacré. Parmi ces savoirs sacrés, révélés (*śruti*), les collections (*samhitā*) : *Rigveda*, *Yajurveda*, *Sāmaveda* et *Atharvaveda*, sont considérés les plus anciennes et composées en sanskrit védique pendant la période védique (autour du deuxième millénaire avant notre ère). Mais le terme « texte védique » est utilisé aujourd'hui de manière plus large, afin de désigner aussi les traités corollaires aux Vedas. Ainsi, dans leur compréhension de « védique » les écoles du *Vedānta* incorporent les *Aranyakas*, les *Brāhmanas* et les *Upanisads*. Une autre tradition, le *Vishnouisme*, inclut aussi la *Bhagavad-gītā*. Ce que l'on entend par « védique » dépend donc de la tradition dans laquelle on se situe. « Les saintes écritures en tamoul sont aussi désignées par le mot *veda* » (Irudayason, 2008, 26). Et les « sciences védiques » contemporaines vont jusqu'à inclure dans ce terme les traités plus tardifs comme les *Vedāṅga*, ou les traités de l'époque classique comme le *Vaiśeṣika Sūtra* ou le *Sāṃkhya Kārikā*, ces traités se situant dans la lignée orthodoxe, c'est-à-dire reconnaissant l'autorité des Vedas. Au vu de la diversité du sens de « védique », dans le langage populaire, « védique » qualifiera pour nous un ensemble de recueils considérés comme des savoirs connectés aux Vedas.

L'autre terme à expliciter est celui de « physique ». D'après l'auteur de notre première référence (Jitatmananda, 1986) l'équivalent sanskrit de « physique » serait *adhibhautika vidya*, le savoir objectif [littéralement savoir sur la nature ou à l'âme universelle], en opposition avec l'*adhyatmika vidya*, le savoir interne [littéralement savoir relatif au soi ou à l'âme individuelle]¹⁹ (p.17). En Europe, le mot « physique » ne prend son sens moderne qu'au début du XVII^e siècle avec Galilée. En France, ce n'est que dans sa sixième édition (1832-1835) du *Dictionnaire de l'Académie française*, que le sens moderne de « physique » apparaît, comme la « science qui a pour objet les propriétés accidentelles ou permanentes des corps matériels, lorsqu'on les étudie sans les décomposer chimiquement »²⁰. La physique est une discipline relative au contexte des sciences modernes, c'est-à-dire le savoir théorique et expérimental qui s'est formalisé à l'époque des Lumières. Même si la physique connaît aujourd'hui une expansion mondiale, sa formalisation académique est liée au contexte de l'Europe du XIX^e siècle. On voit donc directement que les deux termes associés « physique védique » sont sémiologiquement anachroniques. Cependant, tout comme pour le mot « védique », le terme « physique » s'est généralisé et son sens varie selon les auteurs.

L'association de mots « physique védique » est, par contre, plus clairement délimitée. Elle désigne un ensemble de démarches, d'ouvrages ou de documentaires, qui estime qu'un écho des découvertes récentes en physique peut être trouvé dans les Vedas et d'autres textes anciens. On trouve d'ailleurs d'autres disciplines scientifiques qui subissent ce sort, et l'on parle de manière large de « sciences védiques ». L'un des messages véhiculés est de dire que toute connaissance est préexistante, qu'il s'agit de « reconnaissance » plutôt que de

¹⁹“the word “physics” is derived from the Greek *physis* meaning “nature”; that is to say, physics is knowledge of the real nature of the physical universe. Its Sanskrit equivalent would be *adhibhautika vidya*, objective knowledge, in contradiction to *adhyatmika vidya*, self-knowledge.”

²⁰ Dans sa huitième édition (1932-1935), la « physique » est définie comme la « science qui observe et groupe les phénomènes du monde matériel, en vue de dégager les lois qui les régissent.»

découverte. Les mouvements de renouveau hindous qui ont émergé dans l'Inde britannique de la fin du 19^{ème} siècle ont développé l'idée d'une « science védique » présente dans le corpus des *shastras*²¹ de l'antiquité indienne qui auraient soi-disant prévu certains résultats de la science moderne. Les écrits de Dayananda et Vivekananda par exemple, ont eu une influence notable sur cette pensée. Dayananda a rejeté les commentaires plus anciens des Védas comme des corruptions médiévales « opposés à la signification réelle des Védas » (Dayananda, 1925, 2009, 443). En 1900, Vivekananda disait que « les conclusions de la science moderne sont les conclusions mêmes du Vedānta atteint il y a des siècles, la seule différence est que, dans la science moderne, ils sont écrits dans la langue de la matière. » (Vivekananda, 1897, 1970). Nommés « science hindoue » (*hindu science*) par D. Arnold (2010) ou "autre raison" (*another reason*) par G. Prakash (1999). Les termes « vedic science » s'est ensuite imposé. Les ouvrages de physiques védiques se sont multipliés à partir des années 80. La diversité des thèses défendues et des textes anciens qui servent de référence est fascinante. Elle montre que le concept de « physique védique » ne prend sens que dans leur contexte d'utilisation, et selon l'objectif recherché. Et c'est pour cela que l'étude de deux exemples permettra de mieux en saisir la portée.

Avertissement

Chacune des deux références présentées mériterait à elle seule tout un travail de thèse, afin de décortiquer son contenu et son contexte. Mon ambition avec cet article n'est donc pas de présenter un travail exhaustif sur ces œuvres, mais d'offrir une description contrastée qui permettra, je l'espère, de mieux saisir la diversité et l'enjeu du mouvement contemporain des « physiques védiques ».

Concernant les traductions, je me suis efforcée, pour des questions de facilité de lecture de traduire l'ensemble des citations anglaises, vers le français. Pour chaque traduction, on trouvera en note de bas de page, le texte original.

Concernant la retranscription des mots sanskrits, je les ai laissés tels que je les trouvais dans les citations, et quand il s'agissait de mes propres retranscriptions, j'ai utilisé les caractères conventionnels de retranscription de l'alphabet devanagari vers l'alphabet latin. Il se peut donc qu'un même mot soit retranscrit de manière différente, selon l'auteur qui l'utilise.

1. Première référence : *Modern Physics and Vedānta*, Swāmi Jitatmananda, 1986

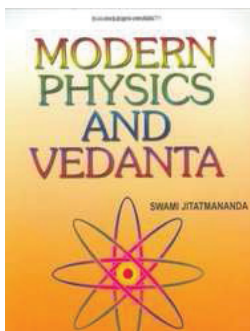


Figure 2: couverture du livre *Modern Physics and Vedānta*, publié par le Bhavan's Book University en 1986

Notre premier élément de corpus est l'ouvrage *Modern Physics and Vedānta*, choisi car il développe des arguments sur une variété de sujets, notamment la physique quantique et la relativité. Il s'agit d'un ouvrage écrit par Swāmi Jitatmananda, publié par le Bhavan's Book University en 1986 (image de couverture ci-contre, figure 2). Cette maison d'édition, fondée en 1938, a pour ambition de mettre en valeur l'héritage intellectuel de l'Inde. L'ouvrage possède plusieurs rééditions : 1994, 2002, 2003, 2004 et 2006, les dernières éditions sont des versions numériques disponibles en ligne. Signalons l'avant-préface à la première édition, par Raja Ramana, un physicien Indien de grande notoriété, ayant dirigé le premier essai nucléaire indien.

²¹ Les *shastras* ou *Śāstra* sont des traités souvent de nature morale, technique ou scientifique, le plus souvent concis, et dont la principale période d'élaboration se situe entre 100 et 300 ap.J.C.

1. A. Contexte de publication

L'auteur, Swāmi Jitatmananda, est un des moines vedāntiste les plus connus actuellement au sein des missions Ramakrishna. Né en 1941, il est originaire du Bengale. Il a effectué des études de science et d'anglais. Il a notamment été président du Sommet national sur la science tenu à Bangalore en 1997. Il est actuellement à la tête du Centre des Missions Ramakrishna situé à Rajkot, dans le Gujarat, ainsi que directeur des activités culturelles et humanitaires des Missions Ramakrishna. Il a écrit d'autres ouvrages, notamment *Holistic Science and Vedānta* (1991).

L'ouvrage se veut une mise en rapport des principes de la physique moderne, en particulier la physique quantique, avec les points doctrinaux du Vedānta. Il peut être utile ici d'explicitier ce qu'est le Vedānta. Vedānta signifie l'accomplissement des Veda (anta : fin, accomplissement), sous-entendu l'ensemble des systèmes doctrinaux fondés sur les écrits védiques (Upaniṣad, Bhagavad Gītā, Brahma Sūtra essentiellement). Et il s'agit en fait de l'un des courants spirituels et philosophiques principaux de l'Inde actuelle. L'auteur de l'ouvrage se réfère en permanence aux écrits de Vivekananda, et entend donc le Vedānta selon la conception de ce personnage célèbre. Vivekananda était un disciple de Ramakrishna, il vécut de 1863 à 1902. Il est notamment connu pour avoir formulé les grandes lignes du renouveau nationaliste et spirituel de son pays et les avoir propagées à l'étranger. « Toute révolution en Inde, défendait-il, exige d'abord une préparation spirituelle. Avant d'inonder notre nation d'idées socialistes, imprégnez-la de concepts spirituels. La première tâche qui nous attend donc, c'est d'extraire les grandes vérités contenues dans nos écritures sacrées, de les sortir de leurs monastères, de les arracher des forêts où se réfugient nos *sannyasins*, de les extirper des cœurs des sages et de les répandre sur notre terre » (Vivekananda, *in* Gautier, 2001, 112). Il créa avec Ramakrishna, les « Missions Ramakrishna », qui possède de nombreuses institutions en Inde et dans plusieurs pays. Dans son ouvrage, l'auteur prend comme référence principale les conférences de Vivekananda, en plus des textes vedāntiques. Vivekananda avait en effet pour objectif d'établir des liens entre le Vedānta et la science moderne, notamment par sa fréquentation avec le célèbre physicien et inventeur serbe Tesla (qui donna son nom à l'unité d'induction électromagnétique). En 1895, Vivekananda écrivait ainsi une lettre à un ami anglais : « M. Tesla pense qu'il peut démontrer mathématiquement que la force et la matière sont réductibles à l'énergie potentielle. Je vais lui rendre visite la semaine prochaine pour voir cette nouvelle démonstration. Dans ce cas la cosmologie vedāntique sera placée sur les plus sûres fondations. Je travaille beaucoup en ce moment sur la cosmologie et l'eschatologie du Vedānta. Je vois clairement leur union parfaite avec la science moderne et l'élucidation de l'un sera suivie par celle de l'autre. » (Vivekananda, 1947, 77) « M. Tesla était charmé d'entendre parler des notions vedāntiques de *Prāṇa* et *Ākāśa* et des *Kalpas*, qui selon lui sont les seules théories que la science moderne peut envisager » (Vivekananda, Jitatmananda, 1986, 13).²²

22 "Mr. Tesla thinks he can demonstrate mathematically that force and matter are reducible to potential energy. I am to go and see him next week to get this new mathematical demonstration. In that case the Vedantic cosmology will be placed on the surest of foundations. I am working a good deal now upon the cosmology and eschatology of the Vedānta. I clearly see their perfect union with modern science, and the elucidation of the one will be followed by that of the other." «Mr. Tesla was charmed to hear about the Vedantic Prāṇa and Ākāśa and the Kalpas, which according to him are the only theories modern science can entertain.»

L'ouvrage *Modern physics and Vedānta* est ainsi découpé : les trois premiers chapitres s'attachent à retracer d'une part la pensée de Vivekananda et du Vedānta, d'autre part, l'histoire des découvertes scientifiques récentes qui ont permis de concevoir la matière différemment, en particulier la mécanique quantique (chapitre 1 : Whither Physics Today, 2. Vivekananda Interprets Vedānta to the West, 3. The Quest for the Ultimate Building Block of the Universe). Le chapitre suivant comporte le cœur du message du livre : le lien entre certains éléments de la mécanique quantique et la vision du Vedānta (4. The Uncertainty Principle and the Omnijjective Reality). Un autre chapitre est dédié à la théorie de la relativité, et son lien avec le concept de Maya (le monde phénoménal, illusoire). Le chapitre 6 (Intuition - the Common Basis of Science and Vedānta) traite de la valeur scientifique des moyens de connaissance contemplatifs. Le dernier est consacré à la cosmologie védique et l'astrophysique moderne. Nous concentrons ici notre analyse sur le cœur de l'ouvrage qui concerne le lien entre physique quantique et Vedānta. Il s'appuie sur des aspects tels que la dualité onde/corpuscule, la superposition des états, ou bien la place de l'observateur.

I. B. Contenu et interprétations, thèses défendues

I. B.1. L'esprit crée le monde

Une des thèses principales de l'ouvrage soutient que la superposition d'états d'un système quantique perd sa superposition du fait de la présence de l'observateur qui considère l'évènement. Autrement dit, le monde quantique est indéterminé (systèmes dans des états superposés), et c'est l'observateur humain, notamment son esprit et sa capacité de discrimination, qui fait émerger une réalité macroscopique déterminée (détermination d'un état unique pour chaque système). Pour en donner une illustration, voici une image célèbre :



Figure 3: image originellement publiée dans le magazine Puck en 1915, trouvée sur le site internet (2014) du Vivekananda Study Circle de l'IIT de Madras.

En regardant cette image, l'esprit distingue soit une femme jeune avec une plume à l'avant du chapeau, soit une vieille femme avec une plume sur le côté. Mais la réalité englobe ces différentes potentialités, la division n'est provoquée que par l'esprit qui discrimine. L'esprit humain, ainsi, est considéré comme responsable de la séparation entre sujet et objet. Le sujet étant l'observateur humain, et l'objet, le monde environnement. C'est le sujet qui crée l'objet. Au-delà de l'esprit, la conscience permet d'accéder à ce monde quantique indéterminé. L'idée phare de cet ouvrage-ci semble être de montrer que la conscience touche la réalité plus profondément que l'esprit ne le fait. La conscience se situe au-delà de la séparation sujet-objet. La séparation entre sujet et objet n'est qu'une action de l'esprit, et la conscience permet quant à elle d'accéder à cette non-séparation. D'après l'auteur, c'est l'esprit humain qui crée le monde illusoire de cause à effet et de déterminisme.

I. B.2. Tout est relié

Tout le chapitre 3 de l'ouvrage est dédié à la notion de particule fondamentale. L'objectif est de convaincre le lecteur que « la physique des particules moderne nous montre l'aberration qui existe à considérer une particule subatomique ou un électron comme une réalité

indépendante. Une telle chose n'existe pas »²³ (p33). L'auteur explique qu'un nombre de plus en plus important de physiciens a abandonné la recherche des « blocks ultimes de l'univers » s'appuyant sur la théorie de la matrice S proposée originellement par Heisenberg. Il évoque la théorie *bootstrap*, qui a également abandonné la recherche d'une particule ultime. Leurs adhérents, écrit l'auteur, ont montré que dans le monde subatomique, aucune particule n'est une entité indépendante, en fait « ce ne sont que des événements connectés les uns aux autres »²⁴ (p 30). D'après l'auteur, Jitmananda, ces découvertes sont la traduction dans une langue de la physique moderne de ce que le texte millénaire vedāntique *Dris-Drya-Viveka* enseigne : « La manifestation de tous les noms et toutes les formes au sein de l'entité nommée Brahman, qui est l'Existence – Conscience – Félicité, comme l'écume dans l'océan, est connu comme la création »²⁵. Il cite également à la page 32 le verset 14 de la *Mundaka Upanisad*, mais sans citer la référence de la traduction anglaise : « Connaître l'Atman unique qui a interpénétré la terre, le monde subtile des pensées, le ciel cosmique, l'esprit et l'énergie vitale de tous les êtres. Abandonne tout autre vain discours »²⁶. »

L'auteur évoque dans ce sens le paradoxe « EPR » (pour Einstein, Podlosky et Rosen) et le théorème de Bell, qui d'après lui exprime qu'il n'y pas de causalité locale (l'effet d'une cause est limité dans l'espace). Ainsi, écrit-il, « personne ne pense qu'une grenade lancée dans une rue de Calcutta puisse casser une fenêtre d'une maison en Californie, et pourtant c'est exactement ce que suggère ce théorème. » (p.50)

I. B. 3. Unicité du monde : matière = énergie

Modern physics and Vedānta revendique également l'absence de distinction entre matière et énergie²⁷. L'auteur explique que Vivekananda avait développé cette conception bien avant le développement de la mécanique quantique ou de la relativité (qui n'ont émergé qu'à partir du XXème siècle). A son époque, Vivekananda (1886), parlait déjà de l'unité entre matière : ākāśa et l'énergie : prāṇa. La théorie de la relativité d'Einstein qui montre l'équivalence entre masse et énergie et l'unité du continuum d'espace-temps est venue confirmer, d'après l'auteur, l'établissement du monisme vedāntique. Ainsi, p.107, il cite la *Katha Upanisad*, 2.3.2 : « Quelque soit ce que nous voyons dans cet univers, cela est dû à la vibration du prāṇa. »²⁸ L'ouvrage explique que le Vedānta décrit « le pouvoir créatif ultime de l'énergie primordiale de l'univers, ou maya, ou śakti » (p.22) Il faut rappeler ici que, pour Vivekananda, et donc aussi pour l'auteur de cet ouvrage, qui en est un disciple, le Vedānta aboutit dans sa version la plus accomplie à la notion de non dualité : l'Advaita Vedānta. *Advaita* qui signifie « non duel » insiste sur le côté unifié de l'*atman* (soi individuel) qui est conçu comme identique au *brahman* (soi universel). Il s'agit d'une tradition développée par Shankara au VIIIème siècle et encore bien vivante de nos jours, notamment à travers l'enseignement de Vivekananda. Pour l'auteur, « le dualisme, le monisme qualifié et le non-dualisme sont les seuls trois étapes progressives de la vision qui se déroule en l'homme tandis

23 "Modern particle physics shows the folly of trying to search for a single object, a sub-atomic particle or an electron as a separate independent reality. Such a thing does not exist".

24 «This has now been developed into another theory called the bootstrap theory of which the most powerful exponent is Geoffrey Chew, chairman of the physics department, Berkeley. Both these new theories have finally abandoned the ultimate particle search. Their adherents are trying to show, and have to a large extent succeeded in doing so, that in the subatomic world no particle is an independent entity. In fact these are nothing but 'events' interconnected with others.»

25 "The manifestation of all names and forms in the entity called Brahman, which is Existence Consciousness- Bliss, like the foams etc. in the ocean, is known as creation"

26 Know that One Atman which has interpenetrated the earth, the subtler world of thought, the cosmic heavens, the mind and the vital energies of all living beings. Give up all other vain talks

27 Vivekananda allait même plus loin, en refusant la distinction entre matière, énergie et conscience.

28 "Whatever we see in this universe is due to the vibration of the prāṇa."

qu'il grandit en intelligence.»²⁹(p.21) Il établit le lien entre la notion de non-dualité et la science notamment dans ce passage citant Vivekananda : « La science n'est que la recherche d'unité. Aussitôt que la science aura atteint la parfaite unité, elle ne progressera plus car elle aura atteint Le but. [...] La physique cessera de progresser lorsqu'elle aura découvert l'énergie dont toutes les autres ne sont que des manifestations. »³⁰ (Vivekananda, 1977, p.8) *Modern physics and Vedānta* vient donc confirmer la non-dualité du monde, en s'appuyant sur l'équivalence entre énergie et matière. Il souligne au passage la connaissance par le Vedānta de cette équivalence bien avant la science moderne.

I. C. Valeur du contenu scientifique

L'interprétation vedāntique a-t-elle une quelconque valeur scientifique ? C'est sans doute la question que le lecteur se pose. Par exemple, a-t-elle une validité au sein de la théorie quantique ? Nous tenterons cependant ici uniquement de décrire si l'ouvrage cité utilise des arguments recevables (c'est ce que nous entendrons par « avoir une valeur scientifique »).

L'auteur possède, une bonne connaissance des enjeux de la physique de son époque. Cependant, pour avoir quelque peu exploré la variété des interprétations de la mécanique quantique, il me semble qu'il est légitime de dire que l'observateur joue un rôle dans la détermination de la mesure, mais de la même manière que tout objet macroscopique en interaction avec un système quantique. Donc, ce qu'il me semble plus correct de dire, c'est que le contexte influence la mesure. Quant à la question de la conscience, elle nécessite de clarifier les termes employés. Par exemple, p.46, l'auteur cite W.Pauli : « A partir d'un centre intérieur, la psyché semble se mouvoir vers l'extérieur, dans le sens d'une extraversion, dans le monde physique. »³¹ Mais quel est le sens donné par Pauli à « psyché » : ego, esprit, conscience ? L'auteur semble accorder un sens bien différent à « esprit » (*spirit*) et « conscience » (*consciousness*). Il se réfère probablement à des termes sanskrits distincts mais n'en donne pas la référence précise, si ce n'est p.63 citant encore Vivekananda « consciousness comme la Réalité ultime : *prajnanam brahma* ». Il est en tout cas fort probable que ce ne soit pas le même sens de « conscience » entendu par Pauli, ou par d'autres physiciens.

L'auteur cite beaucoup de physiciens, mais souvent en sélectionnant des passages hors contexte. Il cite par exemple Heisenberg réfléchissant à son échange avec Einstein : « c'est la théorie qui décide de ce que l'on peut observer. » (Heisenberg, 1971,77) Il conclue qu'Heisenberg exprime ici intuitivement un postulat du Vedānta : le subjectif donne forme et décide de la nature du monde objectif (l'esprit crée le monde). Il ne me semble pas qu'Heisenberg voulait signifier cela par cette phrase, mais plutôt le conditionnement des observations possibles par le cadre de la théorie. Ce qui n'empêche pas l'assertion conclue par l'auteur que « la réalité objective est inextricablement connectée à la conscience subjective du scientifique »³² d'être valable. Cette phrase a du sens, sans même se référer à la théorie quantique.

²⁹ "dualism, qualified monism and non-dualism are only three gradually ascending stages of vision which unfold themselves as man develops finer and finer intelligence"

³⁰ "Science is nothing but the finding of unity. As soon as Science would reach perfect unity, it would stop from further progress because it would reach the goal. Thus Chemistry could not progress further when it would discover one element out of which all others could be made, physics would stop when it would be able to fulfill its services in discovering one energy of which all the others are but manifestations. And the science of religion would become perfect when it would discover Him, who is the one life in a universe of death, Him who is the constant basis of an ever-changing world, one who is the only Soul of which all souls are but delusive manifestations. Thus is it through multiplicity and duality, that the ultimate unity is reached. Religion can go no further. This is the goal of all Science"

³¹31 « From an inner centre the psyche seems to move outward, in the sense of an extraversion, into the physical world. »

³² « the objective reality is inextricably connected with the subjective consciousness of the scientist »

Concernant le rôle de la conscience, toujours, l'auteur s'appuie sur des positionnements du prix Nobel de physique, E.Wigner, qui, dit-il, en 1961, proposa que la « conscience du scientifique faisant la mesure soit la variable cachée – qui décide quel sera le résultat³³. » Pour Wigner, explique l'auteur, le résultat d'une mesure n'intervient que quand une observation humaine intervient, et donc, il est impossible de donner la description d'un événement quantique sans référence explicite à la conscience, ce qui rejoint l'idée du Vedānta que c'est l'esprit qui crée la réalité, que l'objet et son observateur sont liés³⁴. Ce que ne dit pas l'auteur, cependant, c'est que ce prix Nobel de physique, E.Wigner, a changé d'avis plus tard, de manière à éviter le solipsisme imposé par le rôle joué par la conscience (Mehra, 1995, 593). Wigner considéra qu'il était nécessaire d'admettre un état de réduction indépendant de la conscience de l'observateur. Le résultat d'une mesure sera finalement pour lui un événement objectif (Mehra, 1995, Esfeld, 1999). Cependant, il n'explique pas comment s'établit le résultat parmi un ensemble de probabilité. Le problème reste entier.

Concernant le théorème de Bell et le paradoxe « EPR », l'auteur on l'a vu écrit « personne ne pense qu'une grenade lancée dans une rue de Calcutta puisse casser une fenêtre d'une maison en Californie, et pourtant c'est exactement ce que suggère ce théorème ». (p.50) Pourtant, il n'est pas prouvé que cette extrapolation soit valable dans le monde macroscopique.

Ces deux exemples montrent que les références sont parfois extrapolées. Par ailleurs, la valeur scientifique des références aux textes sanskrits pourrait, elle-aussi, être vérifiée. Ainsi, l'auteur a des références peu étoffées, et des traductions non explicitées. Par exemple, *aghatana-ghatyanapatiyasi*³⁵ signifie pour lui, « la capacité à faire advenir les choses dans ce monde relatif d'espace-temps-causalité, sans cause »³⁶(p.22). C'est une traduction extrapolée qu'il faudrait justifier.

Pourtant, à mon sens, juger du contenu scientifique de ce genre d'ouvrages n'est pas forcément pertinent. Car leur portée est souvent autre que scientifique, elle semble davantage métaphysique ou culturelle. Cela n'empêche pas de reconnaître la validité des connaissances des anciens sages indiens, védiques ou vedāntiques. Cela n'empêche pas non plus les textes du Vedānta de servir d'inspiration aux scientifiques dans leurs impasses conceptuelles. Car il est vrai que la physique moderne nécessite des manières de pensée ouvertes et plurielles. Par exemple, les physiciens Schrödinger, Heisenberg ou Costa de Beauregard ont affiché leur inspiration puisée dans les anciens textes indiens : « Quant aux Vedas j'ai pu y trouver des énoncés équivalents à ceci : « La séparabilité est une illusion pragmatique qui est due à notre façon pragmatique de penser et d'agir. Si l'on parvient à s'élever à l'état de conscience cosmique, celle-ci est connaissance intuitive du passé et du futur ainsi que de l'ailleurs. » (Costa de Beauregard, 1981, 77)

Ainsi, une question peut-être plus fondamentale est celle d'ailleurs proposée au dernier chapitre par l'auteur : comment les sages védiques ont pu développer une forme de connaissance sur la nature de l'univers à une époque où eux-mêmes n'existaient pas (par exemple le Big-bang) mais aussi dans des dimensions où ils ne vivent pas (par exemple, le monde microscopique) ? L'auteur répond : « ils ont découvert des vérités à travers non pas l'observation empirique mais la vision intuitive obtenue dans le *Samadhi*, c'est-à-dire un processus de retrait de l'intellect en pure conscience, vers l'état primordial. Dans ce voyage

³³ “consciousness of the scientist which is itself the hidden variable that decides which outcome of an event actually occurs”

³⁴ “consciousness of the scientist is directly responsible for the ultimate knowledge of the external reality brings modern physics almost at the door of Vedānta”

³⁵ Alors que mot à mot, on peut traduire *payasi* : « déplacement », *aghatana* : « lieu », *ghatana* : « événement, déplacement ». On voit donc qu'il s'agit d'une traduction mise dans le contexte.

³⁶ “Vedānta describes the ultimate creative power of the Universe the Primeval Energy, or Maya, or Śakti as *aghatana-ghatyanapatiyasi*, which means that it is capable of making things happen in this relative world of space-time-causality without any cause.”

de retour, conduit dans les profondeurs de la conscience, le voyant illuminé, découvre les étapes à travers lesquelles l'univers externe est passé durant la création »³⁷ (p.108).

I. D. Place de cet ouvrage au sein d'ouvrages du même type ?

Outre celles de Vivekananda, l'auteur utilise de nombreuses citations du physicien F. Capra, dont le livre *Le tao de la physique* publié pour la première fois en 1975, a été diffusé internationalement à très large échelle. On peut par exemple lire à la page 30 de l'ouvrage «Selon les mots de Fritjof Capra, une particule sub-atomique est une entité, mais n'est ni une particule ni un objet. C'est simplement un modèle dynamique d'énergie interconnectée.»³⁸ Dans son livre, F. Capra, met en relation la spiritualité orientale (non limitée à l'Inde) et la physique moderne considéré comme l'un des fondateurs du « mysticisme quantique ». *Le tao de la physique* a été critiqué par une partie de la communauté scientifique, considérant qu'il reposait sur des interprétations insuffisamment fondées de la mécanique quantique. De manière générale, cette critique est faite aux ouvrages relevant du mysticisme quantique, dont notre référence fait indubitablement partie. Le « mysticisme quantique » est un terme utilisé par des physiciens sceptiques pour désigner un ensemble de concepts qui mettent en relation la conscience, des traditions philosophiques et spirituelles orientales et les interprétations de la mécanique quantique. Les traditions hindoues sont particulièrement concernées, car leurs concepts, en particuliers ceux du Vedānta, soutiennent une vision panthéiste de l'univers, qui peut s'accommoder des concepts de la physique moderne. Vivekananda soutenait que le Vedānta était la religion la plus adaptée à la science moderne, l'hindouisme vedāntique, étant en accord avec la raison, à l'inverse des religions du Livre.

L'historienne et philosophe indienne des sciences M. Nanda, dans son livre de 2005, dresse le portrait de ce qu'elle nomme le « mysticisme quantique » indien, c'est-à-dire les personnes qui font un lien entre physique quantique et traditions spirituelles indiennes, en particulier le Vedānta. Elle distingue, parmi les Vedāntistes indiens, trois noyaux de mysticisme quantique qui, d'après elle, se sont développés, seuls ou en collaboration les uns avec les autres :

- « les centres vedāntiques associés avec les missions Ramakrishna qui suivent les traces de Vivekananda en synthétisant science et spiritualité à travers la physique quantique. » Notre référence en est l'exemple le plus diffusé.
- « l'école du Maharishi Mahesh Yogi ». Ce personnage connu notamment pour avoir initié les Beatles, a fait des études de physique avant de devenir un maître spirituel célèbre. Il a développé la méditation transcendantale qui propose une « expérience directe » du « champs unifié ». Il a établi, avec le physicien J.Hagelin (qui intervient dans le documentaire très diffusé « *What the bleep do we know* », 2007), un parallèle entre la théorie des *supercordes* et un *champ unifié de la conscience*.
- « le livre bestseller de D.Chandra, un collègue de Mahesh Yogi ». Ce livre promet « la santé quantique » en créant « des molécules heureuses » grâce à des « pensées heureuses ». Par exemple, Cela s'appelle aujourd'hui « quantum healing » c'est une thérapie que l'on trouve dans les centres New Age. Mais c'est très éloigné de la physique. Le lien qui peut être fait est celui-ci : nous avons vu qu'une thèse défendu par l'ouvrage est que la mécanique quantique rejoint dans ses conclusions l'idée du Vedānta que la séparation entre sujet et objet n'est qu'une action de l'esprit, et la conscience permet quant à elle d'accéder à cette non séparation. Certains auteurs ont extrapolé cette idée en affirmant que c'est l'esprit humain qui crée le monde illusoire

³⁷ "They discovered cosmological truths not through empirical observation but through intuitive insight gained in Samadhi. Samadhi is a process of withdrawing the intellect into pure consciousness. In other words, Samadhi is the reversal of creation, a return to the primordial uncreated state. In this return journey (conducted in the depths of consciousness) the illumined seer discovers the stages through which the external universe passed during creation."

³⁸ "In the words of Fritjof Capra, a sub-atomic particle is an entity, but is neither a particle nor an object. It is just a dynamic pattern of interconnected energy."

de cause à effet et de déterminisme, donc, en apprenant à contrôler l'esprit chacun peut créer son devenir.

M. Nanda critique les *swāmis* (moines) qui discutent du mysticisme quantique. Pour elle, « ils ne sont guère formés en sciences, encore moins en physique quantique. Il s'agit surtout d'interprétations destinées à trouver dans cette branche abstruse de la science, des significations mystiques, qui n'ont pas le soutien de la majorité des physiciens, ni Occidentaux ni Indiens. » (Nanda, 2005). Pourtant, les *swāmis* ne sont pas les seuls à faire le rapprochement. M. Nanda aurait dû, pour être exhaustive et neutre, évoquer tous les autres types de personnes qui mettent en relation la physique quantique et les traditions spirituelles indiennes : il y a par exemple des intellectuels non monastiques, et aussi des scientifiques. Certains sont d'origine indienne, comme le physicien A. Goswami, qui a travaillé à l'Université de l'Oregon au sein de l'Institut de Physique Théorique, aux États-Unis. Son ouvrage de 1995 possède un titre éloquent : *The Self-Aware Universe: How Consciousness Creates the Material World*. Citons également R. Gomatam, qui dévoile un parcours singulier. Ingénieur en électronique, puis informatique, puis chercheur en physique quantique, il s'engage dans l'étude interdisciplinaire des sciences cognitives (états de conscience) et de la physique, enseigne dans des universités Américaines et Indiennes. Il devient directeur du *BhaktiVedānta Institute* (BhaktiVedānta fut le fondateur de l'Association internationale pour la conscience de Krishna, Hari-Krishna). Cet institut se présente comme une organisation à but non lucratif dédiée à la recherche et l'enseignement dans les champs émergents des études de la conscience au sein des sciences. L'antenne principale se situe à Bombay. Une antenne se trouve aux États-Unis. R. Gomatam y enseigne, y développe des conférences sur ce sujet, en particulier sur la mécanique quantique. Il y développe une recherche sur la mécanique quantique au niveau macroscopique³⁹.

Mais on trouve également, des scientifiques qui ne sont pas d'origine indienne. L'Américain, J. Dobson a été moine vedāntin à Chicago et scientifique, notamment en astronomie. Son ouvrage de 1983 *Advaita Vedānta and Modern Science* est davantage orienté vers la relativité que la physique quantique mais il explique par exemple, que « cette physique d'Einstein fournit les éléments permettant de remettre à jour l'idée vedāntique que l'univers n'est pas permanent mais qu'il survient, que c'est une erreur de le concevoir répandu dans l'espace et le temps. » Il soutient que la science récente valide le savoir ancien du Vedānta, même si cela nécessite un nouveau regard.

Il faut aussi citer U. Mohrhoff, un physicien allemand, devenu chercheur au centre Sri Aurobindo⁴⁰ International Centre of Education (SAICE), à Pondichéry. Il se présente comme un chercheur sur les « fondations de la physique et sur les connexions entre la physique quantique et la philosophie/psychologie indienne, en particulier *Veda* et *Upanishads* ». Auteur de nombreux articles et ouvrages⁴¹, ce physicien et philosophe très bien formé sur le sujet de

39 On peut aussi citer U. Chandrasekharaya, *Maya in Physics*. New Delhi: Motilal Banarsidass Publishers, 2006

40 Sri Aurobindo, tout comme Vivekananda, est un représentant du Vedānta moderne. Défenseur de l'Inde indépendante tout comme lui, il a cependant moins d'intérêt envers la science. « Again scientific hypotheses have no character of truth. Very often it is possible to give two different theories explaining the very same facts –so they have equal value. In such a case probabilities are more important than truth. » « The methods of modern science are good so far as the physical plane is concerned; they are not acceptable for the higher ones. »

⁴¹ Dont par exemple, disponibles en ligne sur son site : « Consciousness in the quantum world: An Indian perspective ». Invited paper presented at Quantum Physics Meets the Philosophy of Mind, an international conference held at the Catholic University of Milan, June 4-6, 2013; to appear in *Quantum Physics Meets the Philosophy of Mind. New Essays on the Mind-Body Relation in Quantum-Theoretical Perspective*, de Gruyter, Berlin/New York. Également, « Towards understanding anomalous correlations ». *Journal of Nonlocality* 2 (1), « Evolution of Consciousness: An Aurobindonian Perspective ». Invited paper presented at *Indian Culture, Psychology And Global Civilization: Emerging Perspectives*, an international seminar at the Department of Psychology, University of Delhi, March 22–25, 2013

la mécanique quantique, considère que « l'affirmation centrale de cette tradition [Vedānta] est qu'il existe une Réalité Ultime, et que celle-ci est reliée au monde de cette triple manière :

C'est la substance qui constitue le monde

C'est une conscience qui contient le monde dans sa totalité

C'est (subjectivement parlant) un bonheur infini et (objectivement parlant) une qualité infinie ou une valeur qui s'exprime dans le monde. »⁴²

Enfin, citons, J. Duquette, un jeune chercheur d'origine canadienne, qui développe les points de rencontre, les oppositions et les intérêts du lien tissé entre Vedānta et physique quantique. Sa thèse de doctorat *Towards a Philosophical Reconstruction of the Dialogue between Modern Physics and Advaita Vedānta: An Inquiry into the Concepts of ākāśa, Vacuum and Reality* est une bonne référence. Il a également publié des articles sur le sujet, dont par exemple *Quantum and Vedānta: a perspective from Bernard d'Espagnat's scientific realism* (2011).

I. E. Réception de l'ouvrage

Compte tenu du nombre de rééditions et de sa popularité sur les blogs, l'ouvrage semble avoir trouvé un public large. La préface du physicien-politicien Raja Ramena est frappante du fait de la notoriété du personnage et de son statut politique. Le fait qu'il préface signifie qu'il accorde de la valeur dans la mise en relation des textes anciens savants et sacrés avec les sciences d'aujourd'hui. Ce n'est pas une démarche neutre idéologiquement. Actuellement, beaucoup d'Indiens sont ouverts à ce genre d'approche. Des étudiants, universitaires, n'hésitent pas à y faire référence sur leurs pages web par exemple⁴³. J'ai rencontré des ingénieurs, des avocats Indiens qui se fascinaient pour ce type de démarche. Il est difficile d'estimer la notoriété de ces sujets, et la proportion de gens qui y adhèrent, parmi la population. Il faut un certain bagage culturel s'intéresser à ces sujets.

Il y a aussi des personnes qui critiquent cette démarche de rapprochement. Voici ce que dit par exemple M. Nanda : « parmi ceux qui réclament une synthèse de la mécanique quantique et du mysticisme, il n'y a pas de doute que beaucoup cherchent à justifier leur foi en la validant avec la physique. » C'est sans doute vrai. Par contre, quand elle dit : « Le nationalisme culturel et la motivation du profit semblent être les principaux motifs derrière les attentes précipitées de synthèse », c'est faux, car nous avons vu des contre-exemples, avec notamment les philosophes ou physiciens étrangers cités. Elle écrit « cette littérature est pleine de déclarations radicales qui ne respectent pas l'intégrité de la physique ni l'authenticité du mysticisme qui est le cœur du Vedānta : la physique est tournée en mysticisme et le Vedānta semble concerné par la compréhension du monde matériel, ce qui n'a jamais été le cas. « Mais de quoi s'agit-il quand on parle « d'intégrité » ? Y-a-t-il une intégrité dans le Vedānta ? Nous avons vu que par « Vedānta », on pouvait entendre de nombreux textes plus récents, des commentaires de textes. Ainsi, il ne serait pas étonnant que certains Vedāntistes « intègrent » dans le concept de Vedānta, les conférences de Vivekananda, et pourquoi pas des textes philosophiques sur la mécanique quantique ! Le Vedānta n'apparaît pas comme un ensemble figé. Quant à la physique, il ne s'agit pas ici de manipuler les théories, mais de proposer des interprétations, ce que même les physiciens à

⁴²42 “the central affirmation of this tradition is that there is an Ultimate Reality, and that this relates to the world in a threefold manner: it is the substance that constitutes the world, it is a consciousness that contains the world in its totality, it is (subjective speaking) an infinite delight or bliss and (objectively speaking) an infinite quality or value that expresses and experiences itself in the world.”

⁴³ Par exemple, le blog d'un physicien se présentant comme “A Godly student of Brahmakumaris Spiritual University & A pass-out Researcher from Jawaharlal Nehru University... Deeply involved in Spiritual aspects of life through practising Rajyoga Meditation of Brahmakumaris. Doing research in scientific as well as philosophical milieu to explore new & interesting dimensions towards indicating that Ultimate Reality. <http://sureswar-meher.blogspot.fr/2010/03/concept-of-consciousness-in-advaita.html>

l'origine de la découverte de ces théories se sont occupés à faire : il existe une très grande variété d'interprétations des théories quantiques.

Par contre, il existe un risque, mais différent de celui que souligne Nanda, c'est celui de masquer la profondeur et la complexité de ces deux domaines de connaissance, en les limitant à cette mise en relation.

Concernant l'accueil de ce genre d'ouvrage par la communauté des physiciens en Inde, je peux simplement parler de mon travail de recherche mené auprès des physiciens travaillant au sein d'instituts de recherche indiens ou européens. Mon constat est qu'ils sont plutôt réservés par rapport à ce genre de démarche. Ils ne rejettent globalement pas la possibilité d'une inspiration puisée dans des formes de pensée ancienne ou traditionnelle, mais ne pensent pas qu'elles peuvent apporter autre chose que cela. Quant à la question du rôle de la conscience en mécanique quantique proposée par ces formes de Vedānta, très peu y adhèrent, en tous cas « officiellement », c'est-à-dire dans leur discours public.

II. Seconde référence : Maharshi Bharadwaja's Amshubodhinishastram: Cosmology and Physics of Nuclear Particles in Ancient India (A Book of Modern Physics), Narayan Gopal Dongre et Shankar Gopal Nene

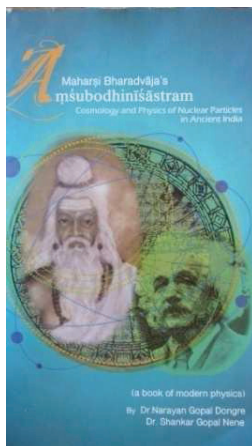


Figure 4: couverture de l'ouvrage Maharshi Bharadwaja's Amshubodhinishastram: Cosmology and Physics of Nuclear Particles in Ancient India 2009

Nous allons nous intéresser à l'ouvrage (couverture ci-contre figure 4) paru a priori en 2009 (aucune date ne figure dans le livre) intitulé : *Maharshi Bharadwaja's Amshubodhinishastram: Cosmology and Physics of Nuclear Particles in Ancient India (A Book of Modern Physics)*, éditeur : Shrinivas G. Jere, Pune: Triangle Concepts.

J'ai choisi de décrypter cet ouvrage surprenant, parce qu'il est l'un des rares à s'intéresser à des techniques et des instruments, plutôt qu'à des théories sur le temps, la matière ou l'espace. Qui plus est, la thèse de ses deux auteurs, assez rare parmi les intellectuels indiens, est de dire que les anciens sages indiens étaient davantage scientifiques que spirituels, et que c'est même la science qui les a conduit à la spiritualité⁴⁴.

Cet ouvrage explique le contenu d'un ancien traité au sujet de la cosmogonie : création de l'univers, des galaxies, et de la connaissance acquise grâce à l'étude des rayonnements, notamment des rayons du soleil, et grâce à des instruments de mesure des spectres lumineux.

II. A. Contexte de publication

Les deux auteurs sont Narayan Gopal Dongre et Shankar Gopal Nene. J'ai eu l'opportunité de rencontrer à Pune en 2014 l'un des auteurs, S.K.Nene, sanskritiste professionnel, traducteur et lettré, enseignant de « manuscriptologie ». N.G.Dongre, décédé quelques années plus tôt, était quant à lui professeur de physique à l'université Banaras de Varanasi. N.G.Dongre avait trouvé le document original à la bibliothèque de l'Institut oriental de Vadodara (Baroda). Il s'agissait déjà d'une traduction anglaise, accompagnant le texte en sanskrit. Cette traduction datait de 1931, pour la date de publication. J'ai recherché le texte original à mon tour, mais n'ai pu l'obtenir que récemment grâce au S.G.Nene qui en a retrouvé une version numérisée. Concernant les parties en sanskrit, il est écrit que l'auteur en est Bharadvaja. Qui était ce personnage ? Quand a-t-il vécu ? Maharshi Bharadwaja ou Bharadvaja est un sage mythique, qui aurait vécu à plusieurs périodes (à moins qu'il s'agisse

⁴⁴“ And there are reasons to believe that spirituality itself has also derived from science.” Texte de présentation de l'ouvrage présenté par les auteurs (donné par le Dr.Nene lors de ma visite à Pune).

de plusieurs personnages portant le même nom, par filiation), et figure parmi les premiers « voyants », les « rishis » qui ont écrit les Veda (supposés dater d'au moins 3500 ans) (Avalon, 1913, 16 et Bodhananda, 1931, pIV). D'après les auteurs Dongre et Nene (2009), étant donné que la période des sutras se situe entre le VIII^{ème} et le IV^{ème} siècle avant J.C, Bharadvaja devrait avoir vécu à cette période. Ce personnage est par ailleurs l'auteur auquel est attribué également l'ouvrage controversé et non moins célèbre *Vymanika Shastra*, qui traite de la construction de machines volantes, les *vimānas*, des engins évoqués dans les anciennes épopées indiennes telles que le *Ramayana* ou le *Mahabharata*⁴⁵. Il est intéressant de mettre en comparaison les deux ouvrages *Amsubodhini* et *Vaimānika Shāstra*, apparemment élaborés, commentés et transmis par les mêmes personnes. Non seulement ces traités sont attribués au même auteur mythique Bharadvaja, mais ils contiennent des commentaires d'un même personnage nommé Bodhananda, dont on sait peu de choses si ce n'est qu'il est postérieur au VIII^{ème} siècle AD. Dans son commentaire, il mentionne en effet un traité de Sārikānātha⁴⁶, lequel a vécu entre 780 et 825 AD (Dongre, 1994). Le style de sanskrit utilisé dans les deux ouvrages est similaire. L'autre personne clé dans ces deux ouvrages est le Pandit Subraya Shastry un moine (swāmi) hindou qui a vécu de 1866 à 1940. C'est lui qui a transmis la connaissance de ces deux anciens traités au XX^{ème} siècle. Les éditeurs du *Vymanika Shastra* écrivent que ce swāmi a reçu le contenu de l'ouvrage par « vision », à la manière des anciens « voyants » védiques. Quant au traité *Amsubodhini*, il l'aurait plutôt retranscrit à partir de récitations de son maître, voire à partir d'anciens traités qu'il aurait eu en main dans son ashram. Ainsi, il écrit à la page 11 de l'ouvrage : « Afin de faire revivre les traités scientifiques anciens (*shastras*), Mr. Faredun, K.Dadachnaji, B.A, LL.B., un parsie de naissance, et Mr.Ramniklal R.Mody, B.A., ont travaillé laborieusement. Finalement, ils m'ont demandé s'il était possible de faire quelque chose afin de faire connaître ces traités. Pour satisfaire leur requête, je leur ai fourni un aperçu de certains de ces traités, dont j'avais entendu parler par notre grand maître.»⁴⁷ (*Amsubodhini*, 1931, p 11). Le swāmi Subraya dressa à ces deux passionnés la liste d'un certain nombre d'anciens traités scientifiques sur des sujets divers tels que le déplacement à la vitesse du vent, l'entrée dans le corps d'autrui, l'analyse des raies solaires, etc. « Ils me demandèrent d'écrire et de leur faire parvenir ces traités afin qu'ils puissent les publier à n'importe quel prix. Je leur ai répondu que j'allais consulter mon maître et que je leur ferai savoir ce qu'il déciderait. »⁴⁸ Le maître, considérant que ces deux personnes étaient pieuses et bien intentionnées, les autorisa à choisir les traités qu'ils désiraient publier. Ils commencèrent, dit-il, avec *Amsubodhini*⁴⁹.

Si l'on regarde les dates de publication, on remarque un écart notable : 1931 pour *Amsubodhini*, 1952 pour *Vaimānika Shāstra*, même s'il est évoqué une mise par écrit autour de 1910. Les éditeurs sont des personnes différentes : F.K. Dadachnaji et R.R.Mody, pour *Amsubodhini*, et G.R.Josyer⁵⁰ pour *Vaimānika Shāstra*. La retranscription-traduction est par contre l'œuvre d'une même personne dans les deux cas, G. Venkatachala Sharma, un proche du swāmi. La publication d'*Amsubodhini* est donc antérieure, d'une vingtaine d'années. L'ouvrage ne fait d'ailleurs pas référence au *Vaimānika Shāstra*, tandis que ce dernier, fait

⁴⁵ Les *Puranas* et le *Mahabharata* font référence à des vimanas pouvant transporter des troupes, des armes, etc.

⁴⁶ Prakaraṇa Pañcikā, voir édition de la Banaras Hindu University, pp 56-57, 1961

⁴⁷ "To revive the Scientific Shastras, Mr. Faredun, K. Dadachnaji, B.A, LL.B., a Parsee by birth and Mr.Ramniklal R.Mody, B.A., been for some time past toiling laboriously. In course of time they enquired of me also, if anything could be done for the revival of the ancient Indian Scientific Shastras. In compliance with their enquiry I furnished so them a brief account of some of such Shastras, which I had heard from our Gururji Maharaj".

⁴⁸ "They desired me to write and get them these Shastras, so that they would publish them at any cost, to which I said that I would consult Gururji Maharaj and let them know what he commanded on this point."

⁴⁹ Sri Sharma, le biographe du pandit stipule que d'autres manuscrits ont été révélés par ce dernier et son maître : 'Prasthan Thraya', 'Bruhad Madhusudana Smriti' 'Raja Bhakti', 'Desha Bhakti', 'Panchagavya Shastra', 'Jala Tatwa Prakashika', 'Maha Sankalpa Vichara'.

⁵⁰ Qui aurait trouvé le texte à la Rajakiya Sanskrit Library de Baroda en 1944

référence à *Amsubodhini*, notamment quand il décrit les types de matériaux des engins volants (16 matériaux différents sont évoqués), les énergies utilisées (de l'atmosphère, du soleil, d'une force électrique causée par le tonnerre, etc.)⁵¹.

Le swāmi Subraya est donc à la source de ces deux publications (au moins). Il aurait obtenu ces savoirs par « révélation », par la transmission orale de son maître, ou par l'accès à d'anciens traités, les trois modes d'accès sont suggérés par les éditeurs et traducteurs. Il semble que le pandit Subraya n'ait pas eu de formations scientifiques et assez peu d'éducation littéraire, ayant acquis la connaissance des textes sacrés auprès de son maître. Par contre, sa biographie (Ventakachala, 1972) fait état d'une rencontre avec J.C. Bose, le célèbre physicien - non pas celui à l'origine du *boson*, qui lui est postérieur, mais celui qui fit des travaux pionniers sur les ondes électromagnétiques. Son autobiographie évoque une rencontre à Bombay. La date n'est pas certaine, mais a priori avant 1918, puisque cette biographie ne dépasse pas l'année 1918 (J.C. Bose est par ailleurs mort en 1937). Leur rencontre me semble intéressante à signaler parce J.C. Bose aurait pu avoir une influence sur l'interprétation d'*Amsubodhini* : il était un génie scientifique tout en étant impliqué dans le renouveau indien, dans la lignée de Vivekananda. Il serait utile de pouvoir connaître le contenu de leurs échanges. En tout cas, la rencontre semble bien avoir eu lieu avant la publication d'*Amsubodhini*.

Voici donc le petit bilan chronologique que nous pouvons dégager sur notre référence : un ancien sage Bharadvaja, d'une époque indéterminée, supposée védique, élabore un traité très lacunaire et concis, *Amsubodhini* ; ce traité reçoit à une époque ultérieure mais incertaine, un commentaire bien plus étoffé, par Bodhananda (postérieur au VIIIème siècle), enfin, au début du XXème siècle, un swāmi Subraya, transmet ce traité à deux intellectuels F.K. Dadachnaji et R.R.Mody, qui le publient en 1931. Le nombre d'exemplaires est indéterminé, mais très restreint a priori. Cette publication inclut d'autres commentaires : les leurs, ceux du swāmi ou bien de son maître. Un exemplaire atterrit à la bibliothèque de Baroda, où Dongre le découvre dans les années 80. Il travaille une vingtaine d'années dessus et publie, en collaboration avec Nene, leur propre commentaire.

Nous allons maintenant voir comment, de commentaires en commentaires, cet ouvrage a développé des significations extrêmement variées. Pour cela, nous allons commencer par en décrire le contenu.

II. B. Contenu, interprétations et valeur « scientifique »

Le traité de Bharadvaja sur lequel s'appuient les différents commentaires comporte 50 aphorismes courts que l'on appelle traditionnellement des « sutras ». En dehors des sutras, originaux, il y a beaucoup de commentaires dans le texte de 1931. Il est difficile de déterminer les commentaires élaborés par le premier commentateur Bodhananda, des parties apportées par le pandit et son traducteur en 1931.

51 Trouvé dans "Vymanika shastra" rediscovered June 1, 2001, A project study conducted by wg. Cdr. M.P.Rao, etc. of Aeronautical Society of India on behalf of Aerospace Information Panel of Aeronautics Research and Development Board, B-Wing, Sena Bhavan. Comments to Dr.T.N.Prakash.

"Guiding principle is 'Soudaminee Kala' (of Anshubodhinee)

Jyothirbhaava. : "As stated in 'Amshubodhinee', out of Samgnaana and other sixteen digits of the solar glow, by attracting the twelfth to the sixteenth digits and focusing them on the air force in the Mayookha section in the fourth pathway in the sky and similarly by attracting the force of the etherial glow and mingling it with the glow in the seventh layer of air mass and then by projecting both these forces through the five tubes in the vimana on to the section of the guhaa-garbha mirror, a rich glow like the morning glow of the sun will be produced.

Guiding work quoted is "Amshubodhini". This work also ascribed to Maharshi Bharadvaja, deals all about solar rays and energy harnessing from these rays. This text is referred to many a time in 'Vymaanika Shastra'

Quel est le sujet du traité ?

- **D'après les sutras de Bharadvaja**, dont la traduction mot à mot est souvent donnée par les commentateurs, il s'agit d'un traité cosmogonique, sur la création de l'univers et de ses différentes manifestations, mais toujours en lien avec la dimension spirituelle de l'*atma*, l'« esprit » ou « l'âme universelle ». Le sens des mots du titre est d'ailleurs révélateur : un traité (*shastra*) sur la connaissance (*bodhini*) des rayons (*amshu*). De quels rayons s'agit-il ? Les *sutras* de Baradvaja sont laconiques. Une traduction approfondie de ces aphorismes mériterait d'être menée. On peut cependant déjà remarquer qu'ils traitent surtout des différentes formes d'énergie (*śakti*). Certes ils évoquent l'image de Brahma, reflétée dans « *l'agnishoma śakti* » à la manière de l'image d'un objet dans un miroir (aphorisme 5, p64). L'image reflet de Brahma est appelée « *Rudra* » (aphorisme 8). Voici un autre exemple d'aphorismes, le 11 : il parle des trois formes d'obscurité et de la radiance de l'esprit (*chit*) qui se reflète dans l'une des trois énergies majeures (*guna*).

- **Le commentateur Bodhananda** voit dans ce traité un sens un peu différent : il explique dans son introduction, qu'afin de rendre les vérités contenues dans les Veda plus accessibles aux différentes castes, les différents sages (*rshis*) les répartirent en plusieurs traités. Ainsi, Bharadvaja, « ayant aussi étudié tous les passages comme « toute la création émane du soleil », de *l'Adharvanic Suryopanishad*, il en a finalement conclu que les trois sortes de Création brute, subtile et causale, prennent place par les pouvoirs bruts, subtils et causaux présents dans les rayons solaires. Pour démontrer ses théories sur la création, il a inventé plusieurs cristaux (*mani*) comme le *Kirana Vibhajaka mani*, décrit dans un ouvrage appelé le *Mani Prakara* et plusieurs variétés de verre comme le verre (*kaladini*) décrit dans le *Darpana Prakarana* et des appareils et des machines comme le *Kirana Śakti Vibhajaka Yantra* détaillé dans le *Yantra Prakaran* »⁵² (Bodhananda p21). Ce traité d'Amsubodhini est donc clairement pour lui dans cette lignée : une étude de la création à partir des rayonnements solaires, et une description des appareils permettant cette étude.

- **Selon le pandit Subraya**, dans son introduction du début du XXème siècle exprime ce dont parle le traité : « la connaissance claire de plusieurs globes solaires, leurs différences de lumière et de rayonnement, la source de leurs rayons, les verres et autres appareils servant à capter ces rayons, l'obscurité, la lumière, la chaleur, la vitesse, la couleur, etc., présents dans ces rayons solaires, les six sortes de changements comme le bonheur, la misère et d'autres qui animent les êtres dans la création, le jour et la nuit; l'application pratique des rayons solaires comme la transmission de messages à des endroits éloignés, le dialogue et la vision de personnes éloignées et d'autres merveilleux accomplissements. »⁵³ (Subraya, 1931, p12)

- **Enfin, nos deux savants contemporains, Dongre, et Nene**, dans la présentation de leur ouvrage, ont un point de vue un peu différent sur le contenu du traité. Ils expliquent qu'« on y trouve notamment une description.

- des raies de Fraunhofer⁵⁴
- de la formation de l'univers et des galaxies.

⁵² "Having also studied all passages such as « all creation emanates from the sun », of Adharvanic Suryopanishad, he at last concluded that the tree kinds of Creation gross, subtle and causal, take place by the gross, subtle and causal powers present in solar rays. To demonstrate his theories on the gross creation, he invented several "Manies"(Crystals) such as Kirana Vibhajaka mani, described in a work known as "Mani Prakara" and several varieties of glass such as "Kaladini" described in Darpana prakarana, and appliances and machines such as "Kirana Śakti Vibhajaka Yantra" detailed in Yantra Prakaran"

⁵³ "Clear knowledge of the several solar globes, the differences in their light and rays, the starting points of their rays, the glasses and other apparatus of attracting those rays, the darkness, light, heat, coldness, speed, color, etc., present in the solar rays, the six kinds of changes such as happiness, misery and so on that overtake the beings in creation, day and night; practical application of the forces of solar rays such as transmission of messages to distant places, conversing with and getting sight of people in far off lands and many other wonderful achievements."

⁵⁴ En physique et en optique, les raies de Fraunhofer - physicien allemand ayant vécu au XIXème siècle - sont les discontinuités sombres observables sur le spectre solaire détecté sur Terre, dû à l'absorption du rayonnement par des éléments présents à la surface du soleil (comme de l'hydrogène ou d'autres éléments chimiques).

- d'une préparation d'un matériau transparent non-hygroscopique pour l'infrarouge : un verre de calcium jaune verdâtre qui peut être utilisé dans les laboratoires d'aérospatial
- de la fabrication d'un spectrophotomètre destiné à mesurer la radiation solaire.

Ils ont d'ailleurs choisi de focaliser leur analyse sur les aspects techniques du traité à savoir le spectromètre et le matériau. Leur ouvrage de 140 pages se divise ainsi en trois parties : 12 pages sur la « cosmologie », 27 pages sur la « description du spectromètre » et 60 pages sur la préparation des verres optique et du matériau infrarouge.

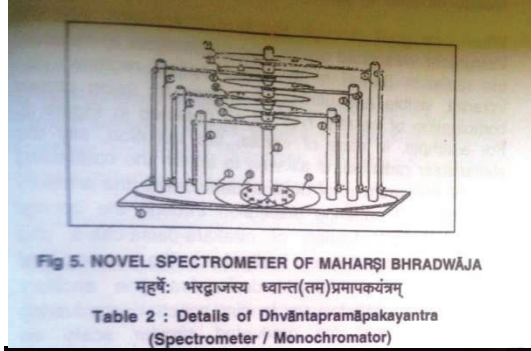


Figure 5: extrait de la page 55 du livre (Nene, Dongre, 2003). Ce spectromètre est nommé ici « dhvānta-pramapakayamtra » (que je décompose mot à mot pour se faire une idée de la convenance du sens général : « dvānta » : obscur mais traduit par radiation par les auteurs; « pramapaka » : preuve, « yamtra » ou « yantra » : instrument). A d'autres endroits, il est question de « prākāśastambhanabhida-Lauha » (« prākāśa » : lumière, « stambhana » : captant, « bidha » : séparation, « lauha » : metal). En dessous : photo de la reconstitution du spectromètre à l'UGC de Varanasi, issu du documentaire *Vimana, i carri volanti degli dei*, Diego d'Innocenzo, Terra, 2005.

Mes petites connaissances en sanskrit ne m'ont pour l'instant permis que d'identifier quelques mots des sutras, et de les distinguer dans les différents commentaires. Déterminer leur sens contextuel nécessiterait beaucoup plus de travail. Et mon objectif dans cet article se limite pour le moment à évaluer les différents positionnements des commentateurs, à observer l'évolution d'un texte et de ses interprétations au cours du temps, en rapport avec les connaissances scientifiques de chaque époque et des motivations idéologiques. Voici quelques extraits décortiqués.

II. B. 1. Extrait sur la cosmogonie

A titre d'illustration, je propose de présenter un extrait de la page 80 du livre de Dongre et Nene. Les deux auteurs développent ici l'aphorisme n°13 du traité de Bharadvaja trouvé dans la publication de 1931.

80

Aṃsubodhiniśāstram

पृ. ९३

॥१ अध्याय; १३ सूत्रम् ॥

॥ ध्वान्तोपाधिलयात्तत्रत्यप्रतिबिंबयोरेकत्वंपर्वस्मिन् ॥

Figure 6 : extrait de la page 80 du livre des Dr.Nene et Dongre.

Adhyāya (chapitre) 1, *sutra* (aphorisme) 13 :*Dhvānto- pādhillayāttatratya – pratibimba- yorokatvam-parvasmina*

Traduction proposée par les auteurs (convertie en français) : “Comme résultat du mélange entre *Bimba* et *Pratibimba* (quarks et anti-quarks de trois couleurs), *Dvhāntadvaya* (electrons et positrons), *Agnisoma* (muons) et *Tama* (radiation), une augmentation de chaleur (haute température) est observée. »⁵⁵ (Dongre, Nene, p 80)

Les auteurs choisissent de traduire *pratibimba* par « anti-quark ». Une traduction plus classique de ce mot sanskrit est « ombre » ou « reflet ».

Le tableau de la page 33 du livre de Dongre et Nene résume bien les choix de traduction des mots principaux présents dans les aphorismes.

| Agnisoma maṇḍala (अग्नीषोम मण्डल) | | | | Prakṛti (प्रकृति) | Muon * | |
|-----------------------------------|---------------------------|---|------------------------|--------------------------------|-------------|---------------|
| Dvityā varāṇa (द्वितीयवर्ण) | Tamāva- raṇa (तमावर्ण) | Dhvānta Kañcukāvaraṇa (ध्वान्त- कञ्जुकवर्ण) | Tamopādhi (तमोपाधि) | Hari (विष्णु) हरिः (विष्णु) | Electron | Māyā (माया) |
| Pratibimba (प्रतिबिम्ब) | Rudra (रुद्र) | Rudra (रुद्र) | Satvopādhi (सत्वोपाधि) | Rudra (रुद्र) | Anti-matter | |
| Prathamā- varāṇa (प्रथमवर्ण) | Satvā- varāṇa (सत्वावर्ण) | Dhvānta- Tamāvaraṇa (ध्वान्त - तमावर्ण) | Rajopādhi (रजोपाधि) | Brahmā (ब्रह्मा) | Positron | |
| Bimba (बिम्ब) | | | | Puruṣa (Brahma) पुरुष (ब्रह्म) | Matter | Brahma ब्रह्म |

Figure 7 : tableau extrait du livre de Nene et Dongre, p 33

On y devine que *bimba* renvoie à « matière », *pratibimba* à « anti-matière » (ou « anti-quarks » comme plus haut). *Agnisoma* se décompose en *agni* (traduit par « énergie positive ») et *soma* (traduit par « énergie négative »). *Agni* signifie couramment le feu, comme élément ou comme déité. Il est donc possible de le concevoir comme une énergie positive, mais il s’agit d’une interprétation particulière. Dongre et Nene traduisent *dhvānta* par « radiation ». Rappelons que son sens plus classique est « ombre, obscurité ». Le terme *prakṛti* est traduit par les auteurs en « densité de faible énergie ». Dans les traités classiques tels que le *Sāṃkhya*, ce terme renvoie au monde matériel manifesté, en opposition au monde de l’absolu spirituel. Dans le tableau, *prakṛti* est aussi associé au « muon », qui est, dans le modèle standard de physique des particules, le nom donné à une particule élémentaire de charge négative, qui a les mêmes propriétés physiques que l’électron, mais en plus lourd. A partir de l’ensemble de

⁵⁵“ As a result due to the intermingling of Bimba and Pratibimba (quarks and anti-quarks of tri-color), Dvhāntadvaya (electrons and positrons), Agnisoma (muons) and Tama (radiation), an increase in heat (high temperature) is observed.”

ces choix de traduction, les auteurs expliquent que la première partie du traité fait référence à la création de l'univers (à partir de la matière et de l'anti-matière), de ses phases d'expansion et de contraction. Ils font référence à plusieurs univers (galaxies au sens des « bulles d'univers »).⁵⁶ Beaucoup de livres de « physique védique » ont la cosmogonie comme sujet de prédilection : c'est-à-dire la création de l'univers, des galaxies, l'évolution des particules de matière. Ils réinterprètent des traités tels que le *Sāṃkhya* (par exemple l'ouvrage *Vedic physics*, 2012), ou les Vedas (par exemple l'ouvrage « Modern science in veda », 2006), et adoptent une traduction particulière des mots utilisés afin de montrer qu'il s'agit de traités cosmogoniques.

Dongre et Nene voit ainsi dans *Amsubodhini* une description détaillée de la formation des planètes, des galaxies, du système solaire, des différents atomes et formes d'énergie.

“Au début, l'atome primordial (*paramātmā*), du fait d'une légère perturbation, subit un Big-bang, ce qui conduit à la formation des galaxies (*brahmāṇaḍas*). Dans cette évolution, le plasma de quark-gluon (*Citcchtki: lohita-capalā*) se sépare en premier et se fait entourer par le plasma de lepton (*Māyā mōlaprakṛti*). Leur interaction engendre la séparation du plasma de lepton en agni et soma, qui aboutit finalement à la formation des positrons et des électrons et engendre une radiation environnante (*tama*). Le cœur central du plasma de quark-gluon se sépare en paires variées de quarks (*lohita-capalā*) et de forces de liaisons (*vegas*).»⁵⁷ (Dongre, Nene, 2010, pXIII).

On remarque notamment qu'ici le terme « électron » se réfère à *dvāntadvaya* (*dvaya* : « paire » et *dvānta* : « radiations » selon le sens attribué par Dongre (1994, p 612), donc *dvāntadvaya* : paire de radiations).

La question qui se pose là est bien celle des choix de traduction. D'après Nene, Dongre aurait considéré que la traduction proposée par Bodhananda ou Subraya n'était pas adéquate, qu'ils avaient trop interprété les sutras d'un point de vue spirituel alors qu'il fallait y voir de la science. Dongre a étudié le texte pendant 30 ans avant d'en proposer sa propre traduction, effectivement bien plus scientifique. Le Dr. Nene m'a confié qu'il regrettait que Dongre soit tombé malade avant qu'ils n'aient pu achever davantage leur travail de traduction, qu'il considère quant à lui, non abouti.

Même si les décalages entre ces différentes interprétations semblent importants, il n'en reste pas moins que la question se pose du sens des sutras dans ce traité, et de leur portée « scientifique ». Ainsi, l'utilisation du mot *vega* dans le traité n'est pas anodine, puisqu'elle est traditionnellement traduite par le terme « d'impulsion », de « force », et il est d'ailleurs courant de considérer que ce concept de *vega* peut être assimilé au concept européen ultérieur d'*impetus*, ou « quantité de mouvement » (Selin, 1997, 813).

Par ailleurs, dans les anciens traités classiques en sanskrit, les chiffres étaient écrits de manière poétique et symbolique, facilitant la transmission orale, et permettant notamment que le savoir soit réservé aux lettrés, afin de sélectionner la qualité et l'ambition des personnes accédant au savoir.

II. B. 2. Extrait sur l'instrumentation

Je choisis en illustration de présenter l'aphorisme 9 et ses différents commentaires, dans l'ouvrage de 1931 et dans les travaux de Dongre. C'est en effet au sein des commentaires qui

⁵⁶ Parmi 64 autres noms de galaxies, la nôtre est appelée *svetavaraha* (white pig).

⁵⁷ « In the first step, the primeval atom (*paramātmā*), due to some slight disturbance, suffers a Big-Bang and leads to the formation of galaxies (*Brahmāṇaḍas*). In this course of action quark-gluon plasma (*Citcchtki: lohita-capalā*) separates first and gets surrounded by the lepton plasma (*Māyā mōlaprakṛti*). Interaction between them causes the lepton-plasma to get separated as agni and soma, which in terms alongs in formation of positrons and electrons (*dvāntadvaya*= “paire de radiations” mot à mot, d'après le sens donné par Dongre à “*dvānta*») give rise to background radiation (*tama*). The central core of the quark-gluon plasma breaks up into various pairs of quarks (*lohita-capalā*) and binding forces (*vegas*).” (Dongre, Nene, 2010, pXIII)

entourent l'aphorisme 9 qu'est développée, pendant plus de 20 pages (p 64 à p77 du texte de 1931), la fabrication du spectromètre et de certains matériaux destinés à l'infrarouge. D'après l'ouvrage de Dongre et Nene, le spectromètre était utilisé afin de mesurer la radiation solaire, et était utilisé pour la classification spectrale des étoiles, ainsi que cela est encore réalisé aujourd'hui (Dongre, Nene, 2010, p63).

॥ सूत्रम् ९ ॥

॥ तन्महत्विष्णुत्कंचुकतमोपत्तमसिपूर्व
वत्त्रयणीतिष्यायेन ॥

॥ बोधानन्दवृत्तिः ॥

प्रतिबिंबितेः पूर्वसूत्रे रुद्रत्वमीरितम् । उच्यते सिन्सत्त्ववेगात्तमश्शक्त्यपकर्षणम् ॥
तमश्शक्त्यपकर्षणबोधकानियथाक्रमम् । पदानिपञ्चसूत्रेस्मिन्निर्णिगितानिपदक्रमात् ॥
तत्रादिमपदात्सत्त्वमहावेगः प्रदर्शितः । तमः प्रमाणमुक्तं स्याद्वितीयपदतस्तथा ॥
द्वितीयपदतः पश्चात्तमो गुणमुदीरितम् । पूर्वदृष्टान्तमुक्तं स्याच्चतुर्थपदतः क्रमात् ॥
तथैवपञ्चमपदात्स्वतस्सिद्धो निरूपितः । पदार्थमेवमुक्त्वास्यसामान्यार्थो धुनोच्यते ॥

THE NINTH APHORISM.

According to the 83rd axiom, so much as a Kanchuka more of darkness of Tamoguna was, as in the previous case, attracted by Satwa Shakti, on account of its Maha Vega. This is the aphorism.

The Commentary.

Figure 8 : extrait de la page 68 du livre de 1931, en gros caractères dhevanagari : le sutra de Bharadvaja, en plus petit caractère, le commentaire de Bodhananda. Et en caractère latins : la traduction anglaise. Le scan s'arrête au niveau du début de la traduction anglaise du commentaire.

La traduction française de cette traduction anglaise peut être : « Selon le 83ème axiome [d'un ouvrage auquel l'auteur fait souvent référence sans que je puisse être certain de son nom : *Arthavana Shruti* p.9, ou bien *Atma Vyakhyana* p.13 ?], autant qu'un *Kanchuka* plus d'obscurité de *Tamoguna* était, comme dans le cas précédant, attiré par *Satwa Śakti*, du fait de son *Maha Vega*. Ceci est l'aphorisme⁵⁸. » (Bhardvaja, Bodhananda, 1931, p68)

Je traduis la version anglaise du début du commentaire (a priori de Bodhananda) sur ce sutra : « Dans l'aphorisme précédent, la radiance de l'*Atma* reflétée dans *Satwaguna [sic]*, présente dans l'*Agnishoma Śakti* est déclarée être *Rudra* du fait de la supériorité du *Satwa Guna* sur les deux autres *gunas*. Maintenant, dans ce 9ème aphorisme, est expliqué comment le fait qu'une plus grande quantité qu'auparavant d'obscurité, ait été attirée par le *Satwa Śakti [sic]* qui a grandi dans ses dimensions à cause de la proximité de *Rudra*. Cet aphorisme consiste en cinq mots traitant du processus d'attraction de l'obscurité. Le *Mahavega* de *Satwa śakti* est mentionné de par le premier mot. La quantité d'obscurité est indiquée par le deuxième mot. *Tamoguna* est mentionné par le troisième mot. Les références précédentes quant à l'attraction de l'obscurité sont exprimées par le 4ème mot. Finalement un axiome est indiqué par le cinquième mot »⁵⁹ (Bhardvaja, Bodhananda, 1931, p68)

⁵⁸ "According to the 83th axiom, so much as a Kanchuka more of darkness of Tamoguna was, as in the previous case, attracted by Satwa Śakti, on account of its Maha Vega. This is the aphorism."

⁵⁹ "In the foregoing aphorism, the radiance of Atma reflected in Satwaguna, present in the Agnishoma Śakti was said to be Rudra on account of the superiority of the Satwa Guna over the other two gunas. Now, in this 9th aphorism, the fact that a greater quantity of darkness than before, was attracted by the Satwa Śakti which grew in its dimensions on account of the proximity of Rudra, will be explained. This aphorism consists of five words dealing with the process of attraction of darkness. The Mahavega of Satwa śakti is referred to of by the first word. The quantity of darkness is indicated by the second

Je retranscris ici les mots sanskrits tels qu'ils ont été écrit dans l'édition de 1931.

A la page suivante, il est expliqué, qu'afin d'expliquer en quoi le mot « kanchuka » peut être traduit par « mesure d'obscurité », il est nécessaire d'esquisser une description du spectromètre « tama pramapaka yantra » (p69). Les commentateurs écrivent qu'ils s'appuient pour cela sur Sharikanatha, « l'un des cinq auteurs à avoir écrit des *shastras* sur ce sujet », *c'est à dire* la mesure de l'obscurité dans les raies solaires. Je n'ai pas trouvé d'informations sur ce Sharinakatha, dont au moins les dates de vie seraient d'un grand éclairage.

Les auteurs ont pu lire la valeur des différentes « longueurs d'onde » de ces raies (que l'on appelle aujourd'hui des raies de Fraunhofer), et en dressent un tableau p68 de leur ouvrage, où ils mettent en correspondance ces valeurs en unité de « kasya » (unité de mesure ancienne). Il me semble qu'ils ont puisé ces valeurs chiffrées écrites en devanagari à la page 80 du traité.

Quelques pages plus loin, dans la section consacrée toujours aux commentaires (a priori de Bodhananda) sur cet aphorisme 9, on trouve ces caractères :

स्तंभनामुखलोहेषुपश्चाद्वादशकस्यच । क्रमात्खश्वराख्यलोहस्याष्टभागांशकंतथा ॥
 भूचक्रसुरभिन्नादिक्षारपञ्चकमेवच । अयस्कांतस्यचत्वारिषड्भागोरुक्कस्यच ॥
 एतान्संमेळ्यविष्वत्तत्तद्भागानुसारतः । पश्चाद्भ्रामणिकमूषामुखमध्येप्रपूर्यच ॥
 पञ्चषष्ट्युत्तरद्विशतकक्ष्योष्णप्रमाणतः । गालयित्वातिवेगेनयंत्रास्येसंप्रपूरयेत् ॥
 एतद्भवेत्कृतकलोहःप्रकाशस्तंभनाभिदः । तेनप्रकल्पितंचक्रंविन्दुरेखांकनैर्युतम् ॥

Figure 9: scan d'un extrait de la page 77 du livre de 1931. Il s'agit a priori ici des commentaires de Bodhananda.

C'est un passage qui intéresse beaucoup Dongre et Nene (dans leur ouvrage de 2010). D'après lui, il s'agit là en effet de la description d'un matériau permettant de capter l'infra-rouge de nature spéciale, puisqu'il est non hygroscopique, c'est-à-dire qu'il ne craint pas l'humidité, contrairement aux matériaux utilisés aujourd'hui pour un tel usage. Dans un article de 1998 paru dans l'Indian Journal of Science, Dongre, rentre dans les détails de sa traduction de ce passage (que je traduis en français) :

« Pour que la version anglaise de la susdite citation soit significative, nous considérons d'abord les quatre matériaux constitutifs cités ci-dessus : 1- *khacara*, 2- *bhōcakra-suramitrādikṣāra*, 3- *ayaskānta* et 4- *ruruka* et nous allons essayer d'identifier les matériaux correspondants connus dans le monde scientifique moderne.

(A-1) le premier parmi eux *khacara* (un voyageur dans l'espace), il peut être considéré comme l'étoile la plus visible - le soleil - de la planète Terre. Or le matériau représentatif du soleil dans la mythologie indienne est *sphaṭika* (quartz ou silice - SiO₂).

(A-2) le matériau suivant est *bhōcakra*, ou *suramitrādi*. Le premier terme *bhōcakra* indique un matériau composé de terre ayant une spirale sur la surface. L'autre synonyme *suramitra* (un ami de déités hindoues) renvoie à un matériau représentatif d'une divinité que l'on peut considérer comme étant Vishnu et donc, le matériau correspondant śaligrama est un fossile de schiste argileux d'âge Jurassique présent dans le Spiti [zone himalayenne], appartenant à Phylum Cephalopoda (Ammonoidea), avec la composition chimique du carbonate de calcium (CaCO₃). Le texte suggère l'utilisation du *kṣāra* de ce matériau. Le produit de calcination de ce matériau, donc, est la chaux ou l'oxyde de calcium (CaO).

word. Tamoguna is mentioned by the third word. They previously quoted parallel regarding the attraction of darkness is expressed by the 4th word. Lastly an axiom is pointed out by the fifth word”

(A-3) le troisième matériau est *ayaskānta*, qui signifie un matériau (une matière) qui attire le fer, évidemment le matériau (la matière) est la magnétite de minerai (l'aimant naturel) ou l'oxyde magnétique ayant la composition Fe_3O_4 chimique.»⁶⁰ (Dongre, 1998,274)

Je m'arrête là dans la liste, car il me semble que l'exemple est déjà assez explicite pour montrer comment les interprétations varient selon les auteurs.

Le lecteur se demandera sans doute si les interprétations qui permettent de fabriquer un type de matériau infrarouge sont réalistes et compatibles avec ce que l'on connaît de l'histoire des sciences. Tout d'abord, ce que l'on remarque, c'est que le sutra de Bharadvaja, supposé très ancien, n'évoque pas spécialement de données techniques sur les matériaux. Le commentaire de Bodhananda, par contre si. Mais pour le moment, nous n'avons pas assez de précision sur l'époque où aurait vécu Bodhananda. Le *Vaiśeṣika Sūtra* (1^{er} siècle environ) évoque la réfraction, l'absorption et la réflexion de la lumière par certains matériaux. L'usage du verre et des lentilles a existé en Inde. Cependant (Subbarayappa, 1999) explique que « le verre n'était pas très usité en Inde, où la poterie lui était préférée. Or, le verre n'est pas un matériau très réactif, contrairement à la poterie (et c'est pour cela qu'on l'utilise dans les tubes à essai !). Donc, l'absence de développement des utilisations métalliques du verre n'a pas permis, comme en Europe, de développer les techniques utilisées dans les sciences physique. Par contre, d'autres passages des commentaires de Bodhananda contiennent des recettes de fabrication de verres composés de matériaux très divers : os, mercure, algues, etc. Ces recettes font davantage penser à des recettes « alchimiques », qui n'ont pas forcément donc un usage optique ! Supposons sinon que les commentaires de Dongre s'appuient sur des commentaires élaborées en 1931, cela serait tout à fait possible du point de vue de l'histoire des sciences. Il faut aussi envisager que les interprétations proposées par Dongre proviennent en partie de ses propres expériences scientifiques dans le domaine de l'optique. Pour démêler les différentes provenances, il faudrait consacrer bien plus de recherches à ce traité et ses différents commentaires. Ce que nous pouvons par contre déjà analyser, c'est la manière dont un même ensemble de sutra peut servir de support à la divulgation de différentes connaissances. Ainsi, le sutra 9 et le sutra 13 sont la porte d'entrée pour les commentateurs leur permettant d'évoquer différentes connaissances en optique, en astrophysique et sciences des matériaux.

De la même manière, le seul sutra 5 sert de support pour expliciter sur plusieurs pages (64 à 68 du livre de 1931) des techniques de reproduction de l'image d'un objet. Le commentateur cite le *Saudamini Kala*: un « traité qui concerne la science des phénomènes où chaque phénomène peut être captée à travers les ombres, les idées. Il traite aussi de techniques pour photographier les intérieurs des montagnes, de la terre. » Le terme de photographie, on le suppose a été apporté par les traducteurs et commentateurs de 1931, de même pour le mot « électricité », par exemple à la page 78 *Varuna śakti* a été traduite par « électricité solaire » (solar electricity), quand on traduirait mot à mot *Varuna* : aquatique, *śakti* : énergie. Le

⁶⁰ “For the English version of the above quotation to be meaningful, we first consider the four constituent materials cited above : 1- khacara, 2- bhūcakra-suramitrādīkṣāra, 3- ayaskānta and 4- ruruca and try to identify the corresponding materials known to the modern scientific world.

(a-1) the first amongst them khacara (a traveller in space) may be considered as the most prominent star –sun – for ou planet earth. Here we are concerned with the representative material of sun which is in according to Indian mythology is sphaṭika (quartz or silica – SiO_2).

(a-2) The next material is bhūcakra, or suramitrādi. The first term bhūcakra indicates a material composed of earth having a spiral over the surface. The other synonym suramitra (a friend of Hindu dieties) which may be considered as Viṣṇu and the corresponding representative material śāligrama is a fossil from Spiti shale of Jurassic age, belonging to Phylum Cephalopoda (Ammonoidea), with the chemical composition as calcium carbonate ($CaCO_3$). The text suggests the use of the kṣāra of this material. The calcination product of this material, therefore, is lime or calcium oxide (CaO).

(a-3) the third material is ayaskānta, means a material which attracts iron, obviously the material is the ore magnetite (lodestone) or magnetic oxide having the chemical composition Fe_3O_4 .” (Dongre, 1998,274).

traducteur de 1931 choisit de traduire *śakti* par « électricité » tantôt par « énergie ». On est donc confronté ici aux choix de traduction et au problème de l'anachronisme.

I. C. Place au sein d'ouvrages du même type

L'ouvrage de Nene et Dongre est assez spécifique dans le domaine des « physiques védiques » car il développe deux sujets bien différents : physique des particules et cosmogonie d'un côté, instruments et matériaux d'un autre. On l'a dit, le premier sujet est le plus courant au sein des physiques védiques (voir ouvrages cités plus haut). Cela s'explique par le fait que les sutras anciens font souvent en effet référence à des notions telles que la création, l'énergie, le temps, la matière et l'espace. L'instrumentation est un sujet moins courant. Cependant nous avons cité l'ouvrage très populaire sur les machines volantes : le *Vymanika shastra*. Cet ouvrage développe beaucoup d'éléments techniques sur les types de matériaux utilisés dans ces machines, sur les différentes formes de propulsion, etc.

Il est également intéressant de situer les sutras de Bharadvaja parmi la littérature sanskrite ancienne. Le commentateur Bodhananda, dans son introduction, insiste sur le caractère orthodoxe – c'est-à-dire en conformité avec les Veda- des sutras Amsubodhini. « Au sein de la *Prasthanā Thraya*⁶¹, le présent traité, *Amsu Bodhini Shastra*, a été mentionné sous l'autorité de l'*Artha Shastras*⁶². Donc, il n'est pas possible de dire que ce traité n'est pas un Shastra de l'Inde classique. »⁶³ (Bodhananda, 1931, p.2) Il est possible que pour recevoir une certaine crédibilité, les connaissances même scientifique, devaient s'inscrire dans un cadre orthodoxe, donc se référer à des textes védiques, ou assimilés védiques⁶⁴. Ainsi, Bodhananda aurait-il, utilisé un traité ancien pour se conformer aux usages, afin d'exprimer une forme de connaissance nouvelle, qui du coup pouvait apparaître comme un renouvellement des anciens traités védiques. Pour Dongre et Nene, tel qu'ils l'expriment dans leur livre : « les écoles de pensée (*dharsana*) classiques ont pu montrer des parallélismes avec la physique moderne, mais les possibilités d'avancement étaient faibles, car chacun des axiomes fondamentaux les empêchaient d'avancer. » (Dongre, Nene, 2010, XI)

Mais serait-ce encore le cas aujourd'hui ? Faut-il, pour accréditer la science moderne en Inde, lui faire faire un lien avec les traités anciens, à la manière d'un nouveau commentaire ? Si c'est le cas, les physiques védiques apparaissent bien comme une démarche de validation dans le monde indien, de la science moderne. Ils lui seraient donc profitables, davantage que néfastes. Et la réciproque serait également valable. Les sciences modernes justifiant elles aussi les savoirs anciens, en retour.

II. D. Réception de l'ouvrage

⁶¹ Une collection de trois grands textes de l'hindouisme qui constitue le fondement de l'école philosophique du système vedāntique : les Upaniṣad, le Brahma Sūtra et la Bhagavad Gītā.

⁶² L'*Artha shastra* (IV^e siècle environ) est un traité d'art de la guerre et de la gouvernance d'un royaume, le lien n'est pas évident avec Amsubodhini...

⁶³ « In this Prasthanā Thraya, the present work, Amsu Bodhini Shastra has been mentioned under the head of Artha Shastras. So, it is not possible to say that this work is not a Shastra of ancient India. »

⁶⁴ Van Buitenen (1966) : "Central to Indian thinking through the ages is a concept of knowledge which, though known to Platonism and Gnosticism, is foreign to the modern West. Whereas for us, to put it briefly, knowledge is something to be *discovered*, for the Indian knowledge is to be *recovered*. [...] One particular preconception, related to this concept of knowledge concerning the past and its relationship to the present, is probably of central significance: that at its very origin the absolute truth stands revealed; that this truth—which is simultaneously a way of life—has been lost, but not irrecoverably; that somehow it is still available through ancient life-lines that stretch back to the original revelation; and that the present can be restored only when this original past has been recovered."

En 1974, une étude critique a été menée par une équipe de scientifiques de l'*Indian Institute of Science*, de Bangalore, sur l'ouvrage *Vymanika Shastra*, mais avec des avis sur le type de matériau et l'usage de lentilles, tels qu'on peut en retrouver dans Amsubodhini. Leur conclusion est que « la description des matériaux et de leur fabrication dans le texte n'a pas d'intérêt pour être reproduit par la pratique scientifique actuelle. Néanmoins, le texte soulève des questions périphériques. L'une d'elles concerne les unités. [...] Les unités de vitesse et de température n'ont pas un sens aisément déchiffrable. »⁶⁵ (Mukundas et al, 1974).

Une autre équipe de scientifiques, cette fois de l'*Indian National Science Academy*, INSA a cherché à réaliser le spectromètre décrit dans l'ouvrage, ainsi que le matériau infrarouge. Cette équipe était composée entre autres du Dr. Dongre, co-auteur de l'ouvrage que nous venons de présenter, du Dr.P.Ramachandra Rao, Directeur du *National Metallurgical Laboratory* de Jamshedpur. Le spectromètre est visible dans le département de physique de la *Banaras Hindu University*. Les détails de la réalisation ont été publiés dans le *Bulletin of Laser and Spectroscopy Society of India* (1999-2000). Quant au matériau infrarouge, plusieurs articles ont été publiés à son sujet par Dongre (1998) et Didolkar (2012). Il a, de manière générale, reçu un accueil enthousiasme du monde scientifique indien. Dongre a d'ailleurs reçu pour ce travail le *Devkaran Award* de l'Indian Ceramic society of India en 2000.

Il m'a semblé intéressant d'obtenir un avis critique sur ces études, auprès d'un physicien français spécialiste des matériaux optiques. Voici quel est son opinion à partir de la lecture de l'article de Didolkar de 2012 : « L'étude sur le matériau IR a l'air tout à fait sérieuse. Par contre, ce matériau est peu être peu sensible à l'humidité, mais sa faible transparence n'est pas du tout un atout pour la réalisation de composants optiques.»⁶⁶

L'hommage rendu à Dongre dans le *Bulletin of Laser and Spectroscopy Society of India* en 2009 (p.47) montre que son travail de valorisation scientifique des textes anciens était plutôt bien vu. Il fut vice-président de la *Laser and Spectroscopy Society of India* de 2001 à 2003. Ce qui montre qu'une partie non marginale du milieu scientifique indien est ouvert à ce genre de démarches. Il a également reçu un *Sanskritamitram award* du Rashtriva Sanskrit Sansthanam, Ministre en 2003 des mains du premier ministre de l'époque. En 2011, une équipe italienne de production vidéo a réalisé un documentaire intitulé *Vimana, i carri volanti degli dei*, dans lequel elle montre des images du spectromètre et une interview du Shankar Nene.

Le parcours du Dr. Nene est également instructif. Il est né dans une famille brahmane à Vârânasî, très pratiquante et très lettrée, son père étant enseignant de sanskrit. D'après lui, les *pandits* de Vârânasî se sont farouchement opposés à son travail car ils ne voulaient pas que les écrits rituels soient interprétés comme des écrits scientifiques (ce qui rendrait leur tâche inutile⁶⁷. C'était il y a 30 ans. L'impression de Nene est que le travail d'interprétation scientifique des textes anciens se développe davantage, et il y a de moins de pandit de la vieille école.

⁶⁵ « Yet the description of materials and their making in the text do not seem to make much sense from the point of view of making them in actual practice. Be this as it may, the text raises some peripheral questions. One of them concerns the kind of units used. The basic text uses 'vitasti' for length, 'link' for speed, 'kaksha' for heat, & 'link' again for electrical force. The units of speed and temperature are new and, to the best of our knowledge, do not have any easily decipherable meaning. Some effort was made to determine the internal consistency of these units, but this did not prove successful. »

⁶⁶ « L'étude sur le matériau IR a l'air tout à fait sérieuse. En effet beaucoup de verre type CaF2 sont sensible à l'humidité ambiante et ne sont pas facile à travailler (polissage notamment, et problème de préparation de surface avant dépôts de couches minces optiques. Par contre, la transmission du "nouveau verre IR" est franchement faible. Je lis une T% de 7 à 24% là où le CaF2 transmet plus de 80%. Ce matériau est peu être peu sensible à l'humidité, mais sa faible transparence n'est pas du tout un atout pour la réalisation de composants optiques. Ce qui est bizarre, c'est que je ne comprends pas pourquoi la T% est si faible. Pour un verre ou même un métal IR (silicium et germanium), ce sont les réflexions par face qui font qu'on perd de la T%. Si c'est de l'absorption qui fait qu'il transmet peu, alors il faut savoir l'épaisseur pour laquelle la T% a été réalisée. Sachant que la décroissance est exponentielle en fonction de l'épaisseur, on peut vite avoir encore moins de T%. »

⁶⁷ Lorsqu'Armstrong a marché sur la lune, les pandits de Vârânasî se sont réunis et on décrété ensemble qu'ils n'avaient pas marché sur la même lune que celle des textes sacrés, sinon la lune ne serait plus l'une des 9 *grahas* sacrées, lesquelles ne peuvent se faire marcher dessus.

Chaque année, à la date d'anniversaire de Vivekananda, se tient à Pune, le *Pradmye Veikas Mandal*, une conférence sur le savoir ancien qui réunit de plus en plus de spécialistes amateurs ou professionnels, qui viennent de toute l'Inde. Lors de la conférence de 2009, les Dr. Nene et Shankar ont présenté ce livre-ci ainsi qu'un commentaire du *Vaiśeṣika Sūtra*, et ils ont été bien reçus (physique et cosmogonie).

En dehors des références citées plus haut, il n'y a guère de travaux sur cet ouvrage. Il est donc relativement méconnu. Il serait utile de poursuivre des recherches sur le commentateur Bodhananda, sur les sens des sutras originaux dans le contexte de leur époque, et sur les autres traités supposés « scientifiques » dont l'existence a été évoquée par Subraya.

I. Discussion générale sur les physiques védiques, à partir de ces deux exemples

Ces deux exemples sont représentatifs de la diversité des « physiques védiques ». Ils nous permettent de soutenir une catégorisation des enjeux (supports, objectifs, positionnement) et des acteurs qui sous-tendent ces publications.

- Supports :

On vient de voir qu'il n'y pas de critère quant aux traités « védiques » de référence sur lesquels s'appuient ces ouvrages. Il peut s'agir des plus populaires tels que la *Bhagavad Gita* ou bien les *Upanishads*, comme dans notre première référence. Il peut aussi s'agir de traités dont on ne peut préciser l'origine, comme dans la seconde référence.

- Objectifs :

La pluralité des objectifs derrière chacun des ouvrages est importante. Les objectifs revendiqués que nous avons rencontrés avec ces deux références sont :

- contribuer à l'histoire des sciences, des civilisations (référence 2).
- redonner de la valeur aux savoirs anciens Indiens. C'est une manière d'insuffler de la confiance en soi et de la fierté suite à la colonisation (référence 1 et référence 2).
- redonner de la valeur aux savoirs issus de traditions locales et remettre en question le monopole des « pays développés » sur la science et la modernité (référence 1 et 2).
- trouver d'autres manières de faire de la science, outils, démarches, objectifs : par exemple une science moins réductionniste, ou bien une science qui s'intéresse à l'interaction entre conscience et matière (référence 1).
- contribuer au développement technologique et scientifique de notre époque par exemple grâce à de nouveaux matériaux (référence 2 : «toutes ces tentatives permettront certainement de résoudre la situation théorique et expérimentale du présent millénaire »⁶⁸(Nene, Dongre, 2009).

Positionnement par rapport à la science moderne :

Nous pouvons remarquer une particularité majeure des « physiques védiques » : dans l'ensemble, elles ne développent guère de critique par rapport au contenu de la science, leur objectif est plutôt d'intégrer ce contenu scientifique à la tradition. Elles témoignent d'une grande disposition à intégrer les savoirs extérieurs aux références culturelles. La religion hindoue a d'ailleurs souvent acclimaté les idéologies extérieures ; ici il s'agit de la pensée scientifique, qui apparaît en quelque sorte comme une « religion » des sociétés modernes.

⁶⁸ "all these attempts may certainly give a way to resolve the interlocked theoretical and experimental situations of the present millennium."

Cette forme de concordisme⁶⁹ apparaît comme une spécificité forte des physiques védiques, en comparaison avec d'autres mouvements indiens « relativistes » de remise en cause de la science moderne, tels que le proposent par exemple A.Nandy ou V.Shiva, d'après M.Nanda (2003, 207), ou par comparaison avec, par exemple, l'ambition des créationnistes catholiques. Ces derniers ont une démarche inverse, ils remettent en cause la validité des découvertes scientifiques modernes pour leur opposer les théories bibliques.

Si les physiques védiques ne contestent guère le contenu et la démarche de la physique moderne, elles en contestent la primauté.

Lorsqu'ils apparurent à la fin du XIX^{ème} siècle, ces mouvements d'appropriation de la tradition classique sanskrite recherchaient les origines de la science en Inde. Ils apparurent comme un désir plus profond de prendre de la hauteur sur l'Europe. Le but dans cette recherche d'antériorité était de jalonner un futur qui devait réaliser une hégémonie indienne nationale (Kapila, 2010, 127). C'est encore le cas dans les sciences védiques contemporaines. Mais il s'agit aussi de montrer que les sages de l'Inde ancienne avaient une autre voie d'accès aux connaissances, différente de l'expérimentation. C'est ce qui apparaît différent dans les physiques védiques par rapport à leurs homologues du XIX^{ème} siècle. « La science moderne imagine arbitrairement que c'est elle qui détient la vraie connaissance et que ses méthodes sont les seules valables pour acquérir des connaissances. » (Mukhyanda, 1997) « La pensée scientifique occidentale s'appuie sur les traditions de la pensée rationaliste grecque selon laquelle seul ce qui est de la compétence des cinq sens est pris en considération dans la connaissance. » (Vasudev, 2001). L'enjeu est donc aussi de montrer que l'intuition ou la révélation peuvent apporter la connaissance. C'est ainsi que les *rshis* l'auraient acquise, c'est ainsi aussi que le swāmi Subraya, l'aurait également reçue.

Comment justifier un tel moyen de connaissance ? L'expérience intérieure permettrait la connaissance, en développant la conscience par des pratiques spirituelles. « L'essence intime de l'être humain est la même que celle qui supporte l'univers dans son ensemble. » (Feuerstein, 1995). L'homme est un microcosme au sein du macrocosme, uni par la même énergie spirituelle qui peut se transformer, sous l'effet du karma, à partir de tous les éléments de la nature, animés ou inanimés. Il n'y a pas de barrière ontologique entre le naturel et le spirituel ; Il y a une unité commune. Dans l'univers organique, les lois de la contradiction n'existent pas, si x est x, il peut aussi être non x mais aussi y en même temps. Parce que toute entité peut à la fois être matérielle et non matérielle (spirituelle) la connaissance spirituelle est un moyen rationnel de connaître le monde matériel.

- Quel type d'acteurs ?

Les auteurs de physique védique, sont, on l'a vu, d'origine et de formation diverses. Ils ont tous effectué des études supérieures, que ce soit en physique ou en sanskrit, ou bien, souvent, les deux. Comme l'explique le sociologue G. Bronner, le passage par les études supérieures initier au caractère souvent polémique de l'avancée des sciences à travers les âges. Plus la sphère de la connaissance augmente en volume – pour une personne donnée, ou pour la science dans son ensemble – plus la surface de contact avec l'inconnu augmente, et plus les envies de mises en relation augmentent (Bronner, 2009, in Moatti, 2013, 39).

Nous avons vu aussi, dans le cas de notre première référence, qu'il pouvait exister des objectifs politiques ou idéologiques derrière les « physiques védiques ». S. Kapila explique que pour « Vivekananda et les autres idéologues, le tempérament rationnel de la science

⁶⁹ Le concordisme consiste à interpréter des textes sacrés d'une religion de manière à les faire coïncider les résultats scientifiques les plus récents.

devint la pierre angulaire de la réforme des pratiques religieuses»⁷⁰(Kapila, 2010). Il s'agissait donc de s'appuyer sur la science pour réformer la religion. Ce n'est plus forcément le même but aujourd'hui. L'histoire des sciences est devenue l'un des sujets les plus chargés politiquement en Inde. Les partis obsédés par l'héritage indien se sont considérablement renforcés dans la dernière décennie du XX^e siècle. L'avènement de la mondialisation coïncide avec l'explosion du nationalisme hindou (Kakar, 2007). Nous n'avons pu eu la place de présenter ici les travaux de Subash Kak, un professeur d'ingénierie électronique et informatique à l'université de Louisiane, d'origine indienne. Ses travaux dans le domaine des « physiques védiques » consistent principalement trouver dans le RigVeda un traité scientifique qui contiendrait des découvertes majeures en physique, cosmologie et informatique, dans une forme codée. Son projet est intimement lié aux thèses qui présentent l'Inde comme la terre originelle des « Aryens » et donc le berceau de toutes les civilisations auxquelles les Aryens ont participé. Kak est l'un des fidèles partisans de l'Hindutva, l'un des intellectuels *kshatryas* (caste des guerriers) meneurs. Ces idées ont une influence directe sur les décideurs du *Bharatiya Janata Party*. Ces idées circulent aussi dans les écoles tenues par les groupes nationalistes : quelque 20000 écoles privées pour 2,4 millions d'élèves (NYTimes, Mai 13, 2002).

Conclusion

Les sciences védiques représentent-elles, comme le pense M.Nanda, un danger pour le développement des sciences en Inde ? Il ne semble pas y avoir confrontation entre les deux. La science moderne n'y est pas vue comme une menace à la tradition mais comme le dernier participant dans une longue série des formes de connaissance faisant autorité. Elle est ainsi considérée comme une forme nouvelle et nécessaire de connaissance. Elles sont donc une revendication pour plus de science.

Présentent-elles, sinon, une menace pour l'interprétation des textes sanskrits ? Le caractère succinct des textes védiques et shastras et leur grand usage du symbolisme font qu'on peut difficilement être certain du sens originel. Il n'est jamais question que d'interprétations. Les commentateurs avaient pour rôle de rendre cette connaissance accessible, mais leur travail se développait toujours dans un cadre contextuel, une époque, qui orientait les interprétations choisies. Ainsi, chaque interprétation ne prend sens que dans un contexte, c'est comme si il n'y avait pas de sens absolu. Les références contemporaines que nous venons de voir ne vont pas à l'encontre des usages. Si, cela ouvre droit à toutes les plus extrêmes interprétations, il en revient à l'esprit critique du lecteur de trouver « sa » vérité.

Il y a donc des éléments qui justifient le développement des « physiques védiques », avec les mises en garde nécessaires, notamment les récupérations politiques et idéologiques : stimuler un intérêt pour l'analyse des anciens manuscrits, un intérêt populaire envers les sciences, une valorisation des pays en développement envers leurs propres traditions savantes, un dialogue entre science et spiritualité.

L'étude de l'émergence de cette tendance en Inde, et dans d'autres pays de traditions savantes, est nécessaire afin d'améliorer nos connaissances en histoire des sciences, ainsi que nos connaissances dans la sociologie de ces mouvements.

⁷⁰ “For Vivekananda and other religious ideologues, the rational temperament of science became the cornerstone for the reform of religious practices. Science was to nourish and condition the transformation of religion, an agenda that was affected through vigorous propaganda in the latter half of the nineteenth century and beyond”

Bibliographie

- Arnold D., Science, Technology and Medicine in Colonial India, Cambridge university press, 2000
- Avalon A. (Woodroffe, J.), *Inhabitants of the Worlds Mahānirvāṇa Tantra* (trad), Blackmask Online, 1913, 2001
- Banaras Hindu University Varanasi, Bulletin of Laser and Spectroscopy Society of India, Number : 18– 221005, 2008-2009
- Bharadvaja Maharshi, Amshubodhini Shastra, Edited by Pandit Subbaray Shashtri, Printed by M/s V.B.subbiah of Bangalore ,Published by M/s F.K.Dadacharji and R.R. Mody of Mumbai, 1931
- Bronner G., La pensée extrême, Denoël, 2009
- Dayananda Sarasvati, *An Introduction to the Commentary on the Vedas, Ṛgvedādi-bhāṣya-bhūmikā* /ed. B. Ghasi Ram, Meerut (1925) Wayback Machine 2009
- De Beauregard O., La Physique moderne et les pouvoirs de l'esprit, Greco, 1981
- Deshpande D., Modern Science In Vedas, Bharatiya Vidya Bhavan, 2006
- Dobson J., Advaita Vedānta and Modern Science, Vivekananda Vedānta Society, 1983
- Dongre N. G., “Dhvanta Pramapaka yantra of Maharshi Bharadvaja (spectrometer/ Monochromator)”, Indian Journal of history of science, 29(4), pp.611-626, 1994.
- Dongre,N.G,”Spectroscopy in ancient India, an application of Spectroscopy to Astrophysics”, Indian Journal of History of Science,33(3), pp 229-238, 1998 a
- Dongre N. G., Malavia S.K., Ramachandra Rao P., “Prakāśa stambambhanābhida lauha of maharṣi bharadvāja (a novel IR transparent material of range 5000 to 1400 cm-1)”, Indian Journal of History of science,33(4), 1998 b
- Dongre N. G., Nene S., Maharshi Bharadvaja’s Amshubodhinishastram: Cosmology and Physics of Nuclear Particles in Ancient India (A Book of Modern Physics), Shrinivas G. Jere ed., Triangle Concepts., 2009
- Didolkar, V.K., “Infrared transparent glass ceramic as per ancient Indian text Amshubodhini”, Jr. of Bharatiya Boudhik Sampad, pp 28-32, May 2012
- Duquette J., “Quantum physics and Vedānta : a perspective from Bernard d’Espagnat’s scientific realism”, Zygon, vol. 46, no. 3 (September 2011)
- Duquette J.,” Towards a Philosophical Reconstruction of the Dialogue between Modern Physics and Advaita Vedānta: An Inquiry into the Concepts of ākāśa, Vacuum and Reality”, thèse de doctorat, Université de Montréal, 2011
- Esfeld M., “Essay Review: Wigner’s view of physical reality”. Studies in History and Philosophy of Modern Physics. no.30B 145-154, 1999
- Gautier F., Vie de Vivekananda , Un autre regard sur l’Inde, Tricorne 2001
- Goswāmi Amit, The Self-Aware Universe: How Consciousness Creates the Material World, Barnes and Noble, 1995
- Heisenberg, W. Physics and Beyond, Harper and Row Publishers, 1971
- Irudayason N. A., Penser un monde par delà les frontières. Derrida et Tirumular – Essai de philosophie comparative, thèse de doctorat Université Paris-Est Marne-la-vallée, Espace Éthique et Politique, École doctorale de Cultures et Sociétés, novembre 2008
- Jitatananda, *Holistic Science and Vedanta*, Bharatiya Vidya Bhavan, 1991
- Kapila, S. “The enchantment of science in India”, Isis; an International Review Devoted to the History of Science and Its Cultural Influences, 101(1), 120–32, 2010.
- Mehra J. and Wightman A. S. (Eds.), The Collected Works of Eugene Paul Wigner (1902-1995), 8 vols. Berlin: Springer-Verlag, 1990-2000.
- Moatti A., Alterscience - Postures, dogmes, idéologies, Odile Jacob, 2013

- Mukhyananda, Swāmi, *Vedānta in the Context of Modern Science: A Comparative Study*. Bharatiya Vidya Bhavan, 1997
- Mukundas H.S., Deshpande S.M., H.R. Nagendras, A. Prabu, AND S.P. Govindaju, Indian Institute of Science, A critical study of the work “Vymanika shastra”, , Bangalore-560012 (Karnataka), 1974
- Nanda M., *Prophets Facing Backward: Postmodern Critiques of Science and Hindu Nationalism in India*, Rutgers University Press, 2004
- Pitchaya S.A., « Les Sciences dans la Pensée Indienne », *La lettre du C.I.D.I.F.*, N° 30-31, pp.44–61, octobre 2004
- Prakash G., *Another reason, Science and the Imagination of Modern India*, Princeton universit press, 1999
- Seal B., *The Positive Sciences of the Ancient Hindus*, Longmans, Green and Company, 1915
- Selin H., *Encyclopaedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures* de Kluwer Academic Publishers, 1997
- Van Buitenen, J. A. B (1966). "The Archaism of the Bhāgavata Purāṇa". In Milton Singer. *Krishna: Myths, Rites, and Attitudes*. pp. 23–40. Reprinted in S.S Shashi, ed. (1996). *Encyclopedia Indica*. Anmol Publications PVT. LTD. pp. 28–45
- Vasudev, G. D. *Vedic astrology and pseudo-scientific criticism, The Organiser* (an English-language publication of the Rashtriya Swayamsevak Sangh), 2001.
- Venkatachala S. G., *The Autobiography* (in English Of Pandit Subbaraya Shastry), published By M. C. Krishnaswamy Iyengar, And C. Venkatachala Sharma, 1972
- Verma Keshav D., *Vedic Physics: Towards Unification of Quantum Mechanics and General Relativity* (India Scientific Heritage), Motilal Banarsidass, 2012
- **Vivekananda, Complete Works, Vol. V, Fifth Edition**, Advaita Ashrama, 1947
- Vivekanda, *Lecture on The Vedānta delivered at Lahore on 12 November 1897*; Advaita Ashrama, vol. 3, 1970
- Vivekananda, *lectures on Raja Yoga delivered in New York in 1896*, Advaita Ashrama, vol. 3, 1970
- Vivekananda, *The Complete Works of Swāmi Vivekananda, Vol.1* sixième édition, Advaita Ashrama, 1977

Annexe 9. La science et ses valeurs : enjeu d'émancipation dans l'Inde moderne

Cette annexe est un texte élaboré suite à une demande de la part de la revue *Alliage*. Il est en attente de retours. Nous y développons certains éléments évoqués dans le chapitre II de la thèse, concernant la place de la science dans l'émancipation de l'Inde moderne.

Résumé

La science en Inde a été longtemps développée à travers des traditions savantes. Au moment de l'indépendance, elle a été, dans une plus grande mesure qu'ailleurs, un enjeu d'émancipation et d'identité nationale. En effet, la lutte pour l'indépendance de l'Inde était aussi une lutte pour la résurrection de la civilisation indienne (Salomon et Sagasti, 1994). Les techniques et savoirs traditionnels furent mobilisés dans la sphère politique et idéologique de manière plus explicite qu'ailleurs. Nous allons le montrer à travers un panorama historique de la place des sciences dans l'émergence de la nation indienne postcoloniale. Et à travers ce panorama, nous mettrons en lumière la cristallisation des revendications identitaires et traditionnelles autour des valeurs véhiculées par la science moderne. Cela nous permettra de mieux décrire et analyser le rôle de la science aujourd'hui dans le pays.

L'écartèlement

Durant les premiers temps de la domination britannique, entre le milieu du XVIII^{ème} siècle jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle, la culture britannique en Inde n'était pas politiquement dominante. La plupart des Anglais en Inde vivaient comme des Indiens, s'habillaient à l'indienne, observaient les coutumes et les pratiques religieuses indiennes. Mais lorsque la domination britannique s'enveloppa de valeurs culturelles, un sentiment d'infériorité commença à se développer au sein du peuple indien. Les concepts européens donnaient la primauté à la science dure et les Indiens se sentaient inférieurs scientifiquement. Ils furent nombreux à ne plus croire en leur propre hiérarchie du savoir issue de leur culture. Le psychologue politique et théoricien social Ashis Nandy raconte, dans plusieurs de ses ouvrages, la manière, dont beaucoup d'intellectuels de cette époque, travaillant dans un système d'éducatif et de valeurs de plus en plus occidentalisé, se trouvèrent écartelés entre leurs traditions et les nouvelles valeurs importées par l'Empire britannique. Les générations antérieures, habituées à vivre avec une pluralité de pensées, cherchaient rarement à démontrer la supériorité des traditions ou des idées indiennes sur celles des autres peuples (Nandy, 1995). Même ceux qui rejetaient la culture indienne au profit de la culture européenne ne ressentaient alors pas d'infériorité raciale ou culturelle. Mais l'idéologie coloniale imposa peu à peu une hiérarchie dans les savoirs. Les Indiens eurent la possibilité de s'instruire auprès de la science occidentale et certains en devinrent des scientifiques de pointe. Mais d'après Nandy, en même temps, une contradiction émergeait en eux : d'un côté le modèle scientifique colonial proposait une ouverture d'esprit exprimée dans l'universalisme et le scepticisme rationnel ; d'un autre côté, une fermeture d'esprit se nourrissait d'une foi aveugle dans le paradigme scientifique occidental (Nandy 2007). Pour beaucoup d'Indiens au milieu du XX^{ème} siècle, cette contradiction prit une forme particulièrement douloureuse. Le mathématicien Ramanujan en est une illustration célèbre. Sa vie illustre la tentative de produire une science valide sur une autre base culturelle. Son imprégnation des mathématiques modernes était presque nulle et sa méthode était surtout de l'induction à partir de cas particuliers. Si la partie

signifiante d'un raisonnement apparaissait quelque part, et que l'évidence de l'intuition lui donnait la certitude, il s'en satisfaisait. Les chiffres et leurs interrelations, arithmétique, géométrique, algébrique, faisaient partie d'un ordre mythique, magique et cognitif. Ils constituaient un langage qui ne pouvait être formalisée sans règles sacrées (Nandy, 1995). Malgré ses méthodes hétérodoxes, il fut élu en 1918 Fellow à la Royal Society. J.C. Bose est également emblématique de cet écartèlement. La revue *Nature* a publié 27 des articles de ce scientifique précurseur et majeur dans le domaine des ondes électromagnétiques, un nombre important comparé à celui des publications des plus grands chercheurs. Or, après 1900, Bose change de domaine de recherche et se tourne vers la physiologie végétale. Dans son système de valeur traditionnel, la connaissance devait être unifiée. Il produisit des travaux pionniers sur la croissance des plantes et leur réaction aux ondes électromagnétiques. Il créa en 1917 un institut dont l'objectif était de rechercher l'unité ultime qui pénétrait l'ordre universel à travers une vue plus intégrée des mondes organiques et inorganique, et dépasserait le cloisonnement des disciplines. Ce retournement disciplinaire le disqualifia pourtant dans le milieu universitaire.

Il y avait donc à cette époque une ambivalence entre l'adhésion au modèle social et hiérarchique de la science moderne, et ses modes connaissances, et en même temps, le rattachement à des modes plus culturels de savoirs. L'historien Kapil Raj décrit comment les brahmanes à leur manière "s'approprient les idées occidentales et la science pour donner de la crédibilité à leur nouveau statut dominant dans la société indienne" (Raj, 1988). C'était aussi un mode d'émancipation vis-à-vis de la puissance coloniale. L'astrophysicien prix Nobel Chandrasekhar (Kameshwar C. Wali, 1998), raconte comment « entre 1920 et 1925 nous avons d'un seul coup cinq ou six célébrités internationale. [...] Cela faisait parti du mouvement national de s'affirmer soi-même. L'Inde était un pays asservi mais en arts et plus particulièrement en sciences nous pourrions regarder l'Occident en face et montrer que nous pourrions l'égaliser. » Les historiens Krishna et Jain (1990) décrivent comment une science nationale indienne s'est développée dans les années 1920 en opposition à la science coloniale britannique autour de quelques leaders scientifiques, principalement en physique, chimie et mathématiques, des sciences considérées comme « pures » par les brahmanes. La première raison de l'épanouissement de la science en Inde en 1920 fut une expression de la conscience nationale et elle dura un certain temps.

A partir de la fin des années 30, il y eu beaucoup moins de vocations scientifiques. Les étudiants préféraient se tourner vers les carrières administratives. Ce n'était sans doute pas sans rapport avec une nouvelle conception de la science. Sous l'inspiration du Mahatma Gandhi, les peuples du sous-continent indien ont été encouragés à faire revivre les pratiques et techniques traditionnelles. Gandhi a été initié à la philosophie et à la science occidentale pendant ses études de droit en Grande-Bretagne, il a fait connaissance avec la critique culturelle occidentale, associée à des noms tels que Ruskin, Tolstoï ou Thoreau. Il a rejeté la science occidentale en recombinaut la critique romantique avec celles de l'orientation « techniciste » et « élitiste » de la science occidentale. Il condamnait le manque de moralité et d'idéalisme de la civilisation occidentale dont la science était, pour lui, un élément central.

Contrairement aux dirigeants marxistes ou positivistes de la plupart des autres mouvements indépendantistes d'autres pays, Gandhi a cherché à développer un mode de vie alternatif dans lequel les techniques traditionnelles et les croyances non-occidentales ont eu une place centrale. La technologie traditionnelle était pour lui un mode de connaissance appliquée, meilleur que les sciences modernes sur le plan éthique et cognitif. Pourtant l'Inde n'a pas suivi l'exemple de Gandhi dans les deux premières décennies de l'indépendance. Sous la direction

de Jawaharlal Nehru, d'ambitieux efforts ont été faits pour implanter ce que celui-ci appelait « un esprit scientifique dans la société indienne ». Comme d'autres dirigeants post-indépendance dans le tiers monde, l'attitude de Nehru envers la science occidentale était favorable. Il proclamait : « C'est la science seule qui peut résoudre les problèmes de la faim et de la pauvreté, de l'analphabétisme et de l'insalubrité, de la superstition et de coutumes et traditions décadentes, de vastes ressources se muant en déchets, d'un pays riche habité par des gens qui meurent de faim. Je ne vois pas comment sortir de notre cercle vicieux de pauvreté, sauf en utilisant les nouvelles sources d'énergie que la science a mis à notre disposition » (Nehru, Krishna, Jaïn, 1990,7-8)

Pendant les années 60, un certain nombre de défis ont émergé et remis en question ces stratégies de développement : les guerres avec la Chine et le Pakistan ont favorisé les tendances nationalistes, une variété de mouvements paysans populaires a émergé, la vague internationale étudiante de protestation anti-impérialiste a atteint le pays et le communisme s'est propagé dans certains Etats, comme le Kerala ou le Bengale, riches en scientifiques. Au début des années 1970, une revitalisation du courant d'inspiration gandhienne fut menée par Jaraprakash Narayan, avec sa « révolution totale » visant à relancer la vie économique dans les villages et les initiatives locales. Les techniques de la révolution verte ne produisaient pas que du bien pour tous. Le renouveau du Gandhisme était un facteur important dans les manifestations contre les grands barrages et les programmes de reforestation sociale parrainés par le gouvernement ainsi que l'émergence de mouvements environnementaux, en particulier les *Chipko*. Un certain nombre d'intellectuels rassemblés au Centre pour l'étude des sociétés en développement (CSDS) déçus par le chemin pris par le développement en Inde, ont commencé à remettre en question le rôle crucial de la science moderne pour le développement de l'Inde. Et leur propos fut bien accueilli en particulier par les étudiants en sciences qui trouvaient leurs connaissances de plus en plus éloignées des besoins de leur pays (MacRobie, 1981). Ces pensées contestataires n'étaient pas isolées dans le monde, à la même époque, des gens comme Jacques Ellul ou Feyerabend s'inscrivent dans la critique technocratique. En 1979, le journaliste de Bombay et activiste politique Claude Alvares, qui était allé en Hollande pour étudier la philosophie, fournit ce qui allait devenir un catalyseur pour la nouvelle pensée critique indienne dans sa thèse de doctorat, *Homo Faber: la technologie et la culture en Inde, la Chine et l'Occident de 1500 à 1972*. Le livre retrace l'évolution historique de la technologie en Inde, en Chine et en Angleterre et cherche à montrer comment les traditions culturelles et, en particulier, les expériences de l'impérialisme et du colonialisme ont affecté les trois pays de manière fondamentale. Alvares proposait un nouveau modèle du développement technologique basé sur l'intégration des traditions scientifiques autochtones et les « technologies appropriées ». « Le renversement du monopole de l'Occident sur le processus de production sera accompagnée par le renversement de sa position de monopole en tant qu'arbitre de ce qui est bon pour les pays du Sud dans le domaine de la culture, des idées et des idéaux. La diffusion de la capacité à produire des biens sera accompagnée de la diffusion de la capacité à produire des idées » (Alvares, 1980, p.221).

La science apparaît donc comme un élément catalyseur de revendications pour les traditions locales et la contestation des valeurs coloniales. Par ailleurs, elle se trouve souvent associée au débat écologique, de critique de l'industrialisation et de la technocratie. Il faut distinguer, comme le rappelle l'historien Krishna V.V, que la contestation était divisée – et l'est encore de nos jours- en deux sortes de mouvements : ceux dits de « popularisation de la science » (PSM : Peoples Science Movement) et ceux d'alternative à la science (ASM : Alternative Science Movement). L'un et l'autre ont développé de fortes critiques des appareils technoscientifiques du pays. Mais leurs inspirations philosophique et idéologique sont radicalement

opposées » (Krishna 1996, p.286). Les mouvements de popularisation cherchent à déployer la science au sein de toutes les strates sociales, afin que le peuple puisse s'en emparer. Ils entendent construire une stratégie contre-hégémonique. Les mouvements « alternatifs » envisagent pour leur part de contrarier l'hégémonie en développant des solutions alternatives, telles que les sciences locales, indigènes, traditionnelles. Alvares et Nandy en sont parmi les plus célèbres représentants.

Les *people's science movements* ont été particulièrement actifs dans les régions communistes du Sud de l'Inde, en commençant par la création de la *Kerala Sastra Sahitya Parishad* (KSSP) en 1962. Ces mouvements s'intéressent au lien entre science et traditions populaires et apportent une expertise scientifique à des manifestations contre les projets forestiers ou d'irrigation. Ils ne sont pas axés sur la critique de la science occidentale, mais plutôt sur la façon dont la science occidentale a divisé la société indienne (Quet, 2012). Ils cherchent à développer une "science de la révolution sociale", selon le slogan principal du KSSP. Dans d'autres régions de l'Inde, les mouvements environnementaux pour les forêts et les terres indigènes se rapprochent davantage de la contestation « alternative ». Comme l'a exprimé une de leur représentantes les plus célèbre, la physicienne devenue activiste verte, Vandana Shiva, «le maldéveloppement est intellectuellement basé sur, et justifié par les catégories réductrices de la pensée et de l'action scientifique. Politiquement et économiquement, chaque projet qui a fragmenté la nature et dégagé les femmes du travail productif a été légitimé comme scientifique par des concepts réductionnistes et opérationnels destinés à réaliser l'uniformité, la centralisation et le contrôle » (Shiva, 1988, p.14). Shiva a été récompensée en 1993 du prix Right Livelihood. Elle explique son attitude envers la science : «Le premier problème qui me contrainait fut la scission très étrange entre une Inde très engagée dans le développement scientifique (nous étions la troisième plus grande main-d'œuvre scientifique dans le monde à l'époque) et en même temps aux prises avec une pauvreté incroyable. L'équation linéaire qui dit que la science moderne est synonyme de progrès et de la réduction de la pauvreté ne s'appliquait pas à l'Inde, pourquoi ? Ça ne fonctionnait pas. Quelque chose n'allait pas. Ainsi, comprendre le contexte social de la science et de la technologie a commencé à devenir un de mes impératifs » (Shiva, *in* London, 1997). Malgré une formation de scientifique, elle reconnaît que sa formation en science est en fait très critique de la science mécaniste. « Si vous voyez le bétail comme source de fumure organique, d'énergie animale ainsi que de produits laitiers, alors les bovins indiens ne sont pas inférieurs. Ce n'est que lorsque vous les concevez comme des machines à lait qu'ils deviennent inférieurs. Si nous évaluons les vaches laitières d'Amérique ou des Alpes suisses en termes de capacité de travail, elles seraient terriblement inférieures. Donc la monoculture unidimensionnelle de la pensée a créé une monoculture de l'esprit. » (Shiva, *in* London, 2005). Pour elle, l'étape suivante est de faire en sorte que les gens reprennent confiance dans leurs propres connaissances et que la biodiversité des connaissances soit conservée. Elle suit les pas de Gandhi, qui d'après elle, n'a pas simplement dit «non» au textile importé, mais a mis tout le monde en capacité de filer. Son combat principal aujourd'hui concerne le brevetage du vivant et la diversité des semences. Plusieurs scientifiques comme elle ont uni leurs forces avec les mouvements environnementaux en Inde et ont, à la fin des années 1980, développé une gamme d'institutions de recherche et d'organisations alternatives. En collaboration avec les groupes de technologies appropriées qui sont encore disséminés dans la campagne indienne, les mouvements environnementaux représentent une critique pratique de la science occidentale en Inde.

Ces critiques de la science occidentale ne vont pas jusqu'à dire que celle-ci a besoin d'être entièrement revisitée. Très peu de points de vue critiques rejettent l'ambition générale de la science moderne de fournir une connaissance vérifiable et universelle. Il s'agit plutôt des utilisations qu'il en est fait et les contextes institutionnels dans lesquels elle est organisée. Tandis que ces scientifiques, intellectuels et militants aspirent à une science plus humaine, plus féministe, et moins réductionniste, une science qui émerge à partir des traditions des cultures non modernes, les nationalistes hindous prétendent, eux qu'une telle science humaine, écologique, et non réductionniste était déjà présente dans la vision du Vedānta et des Vedas, les traditions dominantes de l'hindouisme.

L'enjeu de la science pour les organisations nationalistes en Inde

La science n'a pas été un enjeu majeur seulement pour les intellectuels, les militants de gauche, les écologistes ou les indigènes. L'historienne Abha Sur montre qu'au cours du XX^{ème} siècle, le nationalisme en Inde a eu une fascination pour la science malgré l'opposition au colonialisme (Sur, 2011). La science et la technologie prirent une place telle pour les mouvements nationalistes que ceux-ci voulurent établir des institutions scientifiques propres. Dans le même temps ils cherchèrent à utiliser la spiritualité comme un combat à l'encontre du matérialisme importé par les colons européens (Chatterje 1989 in Sur, 2011, p.188). La science promue par les nationalistes était une science « pure » exempte de matérialisme. L'avènement de la mondialisation a coïncidé avec l'explosion du nationalisme hindou (Kakar, 2007). Les partis obsédés par l'héritage indien se sont considérablement renforcés dans la dernière décennie du XX^{ème} siècle. En 2002, d'après le New-York Times, les nationalistes hindous faisaient tourner plus de 20.000 écoles privées et enseignaient à 2,4 millions d'élèves avec un millier de nouvelles écoles chaque année (NYTimes, Mai 13, 2002). Le concept de *Swadeshi Science Movement* (Mouvement de science d'autosuffisance) a émergé en 1982 à l'Institut de sciences de Bangalore. Il s'agit de développer une « modernisation sans occidentalisation »⁷¹, selon le discours de Shri Dattopant Thengadi, un dirigeant politique nationaliste. Les organisations politiques sont toutes plus ou moins impliquées dans la science. Le Prajna Bharati est un forum national, pour les intellectuels avec une orientation nationaliste. *Il est relié à la Foundation Dharam Hinduja* qui possède des centres en Inde et dans les universités de Cambridge et de Columbia, dont le but est d'étudier et propager la culture et la science « védiques ». Le Bharatiya Janata Party (BJP : Parti du peuple Indien) est l'un des principaux partis politiques en Inde, de tendance nationale-hindouiste.

La frontière entre organisations politiques nationalistes et associations culturelles est mince, mais il ne faut cependant pas mélanger les deux. Il existe ainsi de nombreuses organisations non politisées dont le but est la résurgence des sciences indiennes. En 1991, soixante-quinze intellectuels et scientifiques du pays, réunis sous son égide, décidèrent de créer le Vijnana Bharati : un plan d'action pour le rôle de la science et de la technologie dans la construction de la nation indienne. Il existe de nombreux autres réseaux de chercheurs et d'étudiants, d'ingénieurs, dédiés à la « science nationale ». A la fois désireux de remettre en valeur les savoirs anciens, et de décider des orientations de recherche du futur, ils touchent de très nombreux collègues et universités. A l'instar de l'ISKCON fondé par Swami Prabhupada⁷², certains ont également ouvert des écoles dans différents endroits de la planète qui suivent les cursus scolaires nationaux, en ajoutant des cours de spiritualité, éthique, yoga, sanskrit, etc.

⁷¹ lors d'un séminaire organisé par le Bharat Vikas Parishad, en 1983

⁷² (1896–1977) fondateur de l'International Society for Krishna Consciousness (ISKCON), commonly known as the "Hare Krishna Movement"

Ainsi, les tendances de revitalisation des sciences indiennes anciennes ne sont pas nécessairement politisées. Et ce genre de mouvements est de plus en plus florissant⁷³.

Quelles sont les sciences traditionnelles indiennes ?

Les techniques agricoles et d'irrigation ont été remises en lumière par les mouvements d'alternatives à la science que nous venons de décrire. En dehors de ces techniques traditionnelles, il existe également des savoirs théoriques et appliqués très anciens. La plus diffusée des traditions savantes indiennes est l'*Ayurveda*, qui est resté le principal système médical pratiqué en Inde jusqu'au début du XXe siècle lorsque les colons favorisèrent les techniques médicales occidentales. A cette époque, de nombreuses familles riches encouragèrent leurs enfants à étudier la médecine occidentale. En 1980 le congrès national de l'Inde attribua à l'*Ayurveda* le même statut que la médecine occidentale. De nos jours elle compte plus de 500 nouveaux hôpitaux et les différents médecins travaillent ensemble. Elle attire de plus en plus de personnes à travers le monde, et se développe aussi en convergence avec certaines pratiques médicales modernes en Occident.

En dehors de l'*Ayurveda*, la *Jyotisha*, discipline astrologique est encore extrêmement pratiquée et populaire. Elle est même utilisée par le corps politique pour choisir les dates adaptées à certaines décisions publiques. Le *Vastu vidya*, une discipline architecturale, prenant en compte l'influence des planètes, des saisons et des formes de vibration, est également très pratiquée de nos jours et trouvent un public aussi en Occident. Récemment, le gouvernement a ouvert des cours d'astrologie védique dans les *Colleges* et les Universités pour répondre à demande supposée grandissante.

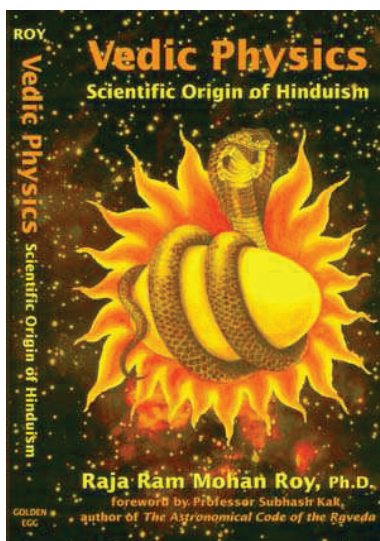


Figure 10: couverture de l'ouvrage *Vedic Physics: Scientific Origin of Hinduism*, de Raja Ram Mohan Roy, Ph.D. (Golden Egg Publishing, 1999). Extrait p.23 : " When Vedic sages coded the knowledge of particle physics and cosmology, they were well aware of the possibility that one day the code may be lost due to the decline of their civilization. Therefore they chose the words very carefully to provide vital clues about the code. In this book we will dissect each word, go to its roots, and discover the lost Vedic science."

Il existe par ailleurs en Inde ce que l'on appelle des « **sciences védiques** » : écologie védique, mathématiques védiques, astronomie védique, etc. Elles désignent un ensemble de démarches, d'ouvrages ou de documentaires, qui estime qu'un écho des découvertes récentes peut être trouvé dans les Védas et d'autres textes anciens. Non seulement ces sciences, par leur valeurs sont plus humaines que les sciences modernes, mais en plus, elles n'ont rien à envier, au

⁷³ On peut pour l'illustrer observer l'évolution du nombre de mouvements et du nombre de congrès sur ces sujets.

niveau du contenu, aux sciences modernes. Nommés « science hindoue» (*hindu science*) par D.Arnold (2010) ou "autre raison" (*another reason*) par G.Prakash (1999), ces premiers ouvrages eurent aussi pour but de "provincialiser" l'Europe."(Kapila 2010, p.123). L'un des messages véhiculés est de dire que toute connaissance est préexistante, qu'il s'agit de « reconnaissance » plutôt que de découverte. Plusieurs ouvrages de sciences védiques montrent par exemple que le Big-Bang était déjà connu des anciens Indiens. Les ouvrages de physiques védiques se sont multipliés à partir des années 80. La science moderne n'y est pas vue comme une menace à la tradition mais comme le dernier participant dans une longue série des formes de connaissance faisant autorité. Mais il ne s'agit pas que de revendication d'antériorité. Il y a d'autres enjeux. En 1900, Vivekananda disait que « les conclusions de la science moderne sont les conclusions mêmes du Vedānta atteint il y a des siècles, la seule différence est que, dans la science moderne, ils sont écrits dans la langue de la matière. » (Vivekananda, 1897, 1970). Les sciences védiques peuvent aussi être considérées comme une science basée sur d'autres valeurs. Ainsi, elles proposent une vision intégrée de la matière et de la conscience. Elles défendent également une vision plus holiste, moins réductionniste.

Ainsi, ces « sciences védiques » revendiquent le déploiement de la science, mais en faisant remonter cette connaissance dans le passé indien et/ou, en y adossant d'autres valeurs métaphysiques ou épistémologiques.

Tradition et modernité : opposition ou accord ?

L'anthropologue Caterina Guenzi (Guenzi, 2012) a étudié l'utilisation de méthodes traditionnelles (divination) et moderne (médecine allopathique) dans le traitement du cancer, en Inde. Elle montre que deux sources d'autorité cognitive radicalement différentes sont reconnues comme valides : la parole révélée, transcendante et incontestable des maîtres anciens, auteurs des traités sanskrits d'une part, et, de l'autre, l'expérience qui permet l'élaboration de nouvelles théories à partir du traitement des données empiriques. Dans un cas, la priorité épistémologique est accordée à la théorie en tant qu'ensemble de principes qui ne sont pas sujets à un processus de vérification empirique, alors que dans l'autre cas, l'expérience contribue de manière indispensable à la progression de la connaissance. L'acte de comparaison devient un outil pour établir des alliances ou des hiérarchies entre des théories, des méthodes et des approches qui permettent d'encren le savoir dans sa temporalité. Un rapport du groupe de travail de la Commission de planification intitulé « l'Inde comme superpuissance de la connaissance » préparé sous la leadership d'Abdul Kalam, président du pays, de 2002 à 2007 souligne que « l'Inde était une société de la connaissance de premier plan dans les millénaires passés » et qu'elle compte le rester. Il n'y a pas vraiment de confrontation, au niveau des instances publiques, entre traditions savantes et science moderne, mais plutôt une continuité, et ceci est d'autant plus revendiqué avec le gouvernement élu en 2014. Il est écrit dans l'énoncé programmatique de la formation des professeurs des écoles, que ceux-ci doivent construire les concepts scientifiques au moins en partie à travers des connaissances « locales » et contextualisées. (Sharma, 2009). L'ancien ambassadeur indien A.Varma , dans son ouvrage *Le défi Indien*, paru en 2005, met en relief la modernité indienne et le recours aux pratiques superstitieuses. « Quand les Indiens apprennent la science, les affaires ou la technologie, ils compartimentent leurs intérêts : les nouvelles formes de pensée et de comportements ne remplacent pas les anciennes voies religieuses, mais parviennent à coexister avec elle. » (p.247) L'Indien a une double personnalité bien ajustée, capable d'exister simultanément et aisément sur deux plans opposés. » Pour Varma, la capacité de compartimenter son esprit constitue à la fois une faiblesse et une force. Une force car l'attachement à la tradition ne constitue pas une barrière pour un monde scientifique ou

technologique. Une faiblesse car la science ne changera pas les préjugés et superstitions. Il estime que les Indiens n'ont en général pas besoin de se débarrasser de tout un arrière plan de traditions. Ce qui procure une grande adaptabilité même si celle-ci retarde ou empêche la modernité effective.

L'inégalité est ailleurs

La confrontation entre modèles traditionnels de pensée et science moderne ne semble donc pas être un problème pour la nation indienne : elle persiste à vouloir garder ses savoirs traditionnels tout en développant la science moderne, même s'il y a quelques zones de frottement. L'enjeu du développement de la science en Inde semble plutôt concerner l'inégalité d'accès au savoir. Aujourd'hui, l'Inde a le plus grand nombre d'enfants non scolarisés dans le monde, mais aussi l'un des plus grands réservoirs mondiaux de main d'œuvre formée et bien qualifiée. Ironiquement, c'est cette inégalité sociale qui a contribué à l'apparition de l'Inde comme puissance technologique mondiale. A la différence de la Chine, l'Inde n'a pas fait de choix dictés par des considérations d'équité et d'égalité des chances. Les taux d'alphabétisme sont plus élevés en Chine qu'en Inde (25% des hommes/garçons et 45% des femmes/filles), mais l'Inde envoie 6 fois plus d'étudiants dans les universités » (Varma, 2005, p.200). Analphabétisme et instituts prestigieux s'y côtoient allégrement.

Comment expliquer cette disparité d'accès au savoir ? Sous la direction de Nehru, la volonté politique et l'aide économique avaient permis d'assurer l'expansion continue des organisations scientifiques et le financement de la science et de la technologie » (Krishna and Jain, 1990, p.15). Mais, dans les années 1950, des citoyens influents des classes moyennes et supérieures se trouvèrent peu motivés par le développement d'une éducation de base (celle du plan quinquennal de 1951-1956 en faveur de l'éducation primaire) – qu'ils avaient déjà acquise – et ils ont fait pression pour développer des établissements d'enseignement supérieur, qui pouvaient ouvrir la voie à leur ascension sociale, aux dépens de l'éducation primaire et secondaire (Varma, 2005, p.199). « Dans les deux premières décennies qui suivirent 1947, le budget alloué à l'enseignement technique a été systématiquement plus élevé que celui consacré au secondaire. Dans le premier plan quinquennal, 5% des crédits allaient à l'enseignement du second degré, 14% à l'éducation technique. Le deuxième plan (1956-1961) allouait 18% à l'éducation technique et le troisième plan (1961-1962) 21%. Dans le suivant, l'éducation technique se taillait la part du lion, un quart du budget total de l'éducation » (Varma, 2005, p.200). La montée des ambitions et l'aspiration à monter dans l'échelle sociale, n'a cessé de croître depuis l'indépendance. Et les opportunités se sont multipliées considérablement après les réformes économiques de 1991 et l'apparition de la technologie et de l'information.

Aujourd'hui, l'Inde « produit » chaque année 10 000 thésards en science par an (Maslen, 2013). Elle possède 370 universités, 1500 institutions de recherche, 10 428 instituts d'éducation supérieure (Dept of Science and Technology India, 2012). Le pays est classé au 7^{ème} rang mondial en termes de publications scientifiques et 23^{ème} en terme de H index (SJR indicator, 2013), ce qui en fait un pays de plus en plus important sur la scène scientifique internationale. Rappelons aussi que près d'un tiers des scientifiques travaillant aux Etats-Unis sont Indiens (ou d'origine indienne). Il faut considérer ce fait lorsqu'on veut parler de la place de l'Inde sur la scène scientifique mondiale. Les Etats-Unis sont le principal pays en termes de publications scientifiques. Et ils doivent donc en grande partie ce statut aux Indiens qui viennent emplir leurs rangs. Depuis peu, le pays propose des salaires de plus en plus attractifs pour les chercheurs, afin de faire revenir ou garder ses scientifiques de pointe (Dept of Science and Technology India, 2012). Ce s'explique aussi parce que la science pourrait

bientôt être aussi importante pour le pays, en terme économique, que la technologie. Rappelons qu'environ 35 % du total des recettes en devises étrangères de l'Inde provient des exportations de logiciels, fournissant des emplois à 2,2 millions de personnes et représentant une capitalisation boursière de 225 milliards de dollars (Rapport de l'Unesco sur la science 2006, p.260). Reste à savoir comment ces « mannes » scientifiques et technologiques vont contribuer à réduire les inégalités.

Quelques conclusions

La science tient depuis longtemps une place privilégiée en Inde. Aujourd'hui, l'enjeu se situe au niveau des valeurs qu'on peut en attendre : atteintes à l'environnement, accroissement des inégalités, conception métaphysiques et épistémologiques différentes, ... La place des savoirs traditionnels joue un rôle pour redéfinir ces valeurs, mais ce rôle est encore incertain.

Ce que nous pouvons mettre en perspective, c'est qu'il existe une grande variété de positionnements individuels et collectifs sur ces valeurs de la science. Cette variété est le reflet de celle des intérêts des personnes et des institutions qui y sont confrontés. Les personnes impliquées dans ces mouvements de revitalisation des sciences indiennes, ou d'alternatives à la science occidentale, qu'elles soient politiques ou non, touchent principalement des personnes diplômées. « Plus de 70 % des militants de ces mouvements (et la plupart des permanents) possèdent un diplôme en sciences ou en sciences sociales. » (Krishna 1996, p.295). On peut en déduire, comme Krishna V.V. que la science porte en elle ses propres contradictions, « qu'elle secrète au sein de ses propres élites et de ses institutions les bases mêmes d'une contre-hégémonie » (1996, p.295)

Mais ce que nous pouvons constater également d'intéressant, c'est qu'en dehors des mouvements indiens de popularisation ou d'alternative de la science, il existe un autre pan de contre-hégémonie. Il s'agit de la revitalisation des sciences védique qui ne porte pas sur la façon dont le domaine techno- scientifique est socialement organisé mais sur le contenu même de cette science, et des valeurs métaphysiques et épistémologiques qu'elle porte. C'est peut-être ce qui fait qu'elle trouve un écho en Occident, davantage que n'en ont trouvés les mouvements alternatifs basés sur la revitalisation des systèmes indigènes de connaissances, profondément enracinés dans les contextes locaux. Avec ce type de démarches, ce sont les valeurs et le sens même de la science qui sont questionnés. Il ne faudrait pas le négliger.

Bibliographie

Alvares, Claude Alphonso. 1980. *Homo Faber: Technology and Culture in India, China, and the West from 1500 to the Present Day*. The Hague; Boston; Hingham, MA: M. Nijhoff Publishers.

Department of Science and Technology Government of India New Delhi. 2012. "Bibliometric Study of India's Scientific Publication Outputs during 2001-10. Evidence for Changing Trends" (July).

Guenzi, Catherina. 2012. "Regards Indiens Sur La Compatibilité Entre Les Savoirs." In *Faire Des Sciences Sociales. Comparer*. Paris: Éditions de l'EHESS.

Kameshwar C. Wali. 1998. *Chandrasekhar: Une Histoire de L'astrophysique*. Paris: (Dept of Science and Technology India, 2012).

Kapila, Shruti. 2010. "The Enchantment of Science in India." *Isis; an International Review Devoted to the History of Science and Its Cultural Influences* 101 (1) (March): 120–32.

Annexe 9. La science et ses valeurs : enjeu d'émancipation dans l'Inde moderne

- Krishna, Venni V. 1996. "La Contestation Techno-Scientifique En Inde." In *Les Sciences Hors d'Occident Au XXème Siècle. Volume 6. Les Sciences Au Sud. Etat Des Lieux*, edited by Roland Waast, Orstom Edi, 284–300. Paris: ORSTOM.
- Krishna, V.V., and A Jain. 1990. "Country Report: Scientific Research, Science Policy and Social Studies of Science and Technology in India." In *Paper Presented at the First Workshop on the Emergence of Scientific Communities in the Developing Countries*. Paris: ORSTOM.
- London, Scott. 2005. "In the Footsteps of Gandhi: An Interview with Vandana Shiva." *Blog Du Journaliste Scott London*. "Insight & Outlook" radio serie. <http://www.scottlondon.com/interviews/shiva.html>.
- MacRobie, G. 1981. *Small Is Possible*. New York: Harper & Row.
- Maslen, Geoff. 2013. "Turning out Millions of Doctorates." *University World News*, April 3. <http://www.universityworldnews.com/article.php?story=20130403121244660>.
- Nandy, Ashis. 1995. *Alternative Sciences: Creativity and Authenticity in Two Indian Scientists*. Oxford: Oxford University press.
- . 2007. *L'ennemi Intime: Perte de Soi et Retour À Soi Sous Le Colonialisme*. Paris: Fayard.
- Quet, Mathieu. 2012. "Critiquer Les Sciences et La Médecine Dans Un Pays Non Hégémonique. People's Science et People's Health En Inde." *Revue D'anthropologie Des Connaissances* 6 (3): 25–47.
- Raj, Kapil. 1988. "Images of Knowledge, Social Organization, and Attitudes to Research in an Indian Physics Department." *Science in Context* 2 (02) (September 26): 317–339.
- Salomon, Jean-jacques, and Francisco R Sagasti. 1994. *The Uncertain Quest: Science , Technology , and Development*. United Nations University.
- Sharma, A K. 2009. "Les Évolutions de L'enseignement Des Sciences. L'expérience Indienne." *Revue Internationale D'éducation de Sèvres* 51 (3).
- Shiva, Vandana. 1988. *Staying Alive: Women, Ecology and Development*. London: Zed Books.
- Sur, Abha. 2011. *Dispersed Radiance: Caste, Gender, and Modern Science in India*. Navayana. Delhi.
- Varma, Pavan K. 2005. *Le Défi Indien, Pourquoi Le XXIème sera le siècle de l'Inde*. Arles: Actes Sud.

Annexe 10. Point de vue des physiciens rencontrés sur les problèmes de la recherche

Cette annexe présente une synthèse des points de vue recueillis auprès des physiciens interrogés sur les problèmes actuels de la recherche. Il s'agit en effet d'une question posée systématiquement aux physiciens, dans le but premier de sonder – de manière contournée – leur position face aux cloisonnements des disciplines. Nous ne l'avons pas exploitée directement dans la thèse, car elle n'apportait rien à la problématique, mais les éléments qui en ressortent sont intéressants pour apprécier le ressenti des physiciens sur l'état actuel de la recherche, dans leur pays, et dans le monde. Il permet entre autres, de percevoir, les différents enjeux locaux de la recherche selon les problèmes sociaux auxquels sont confrontés les pays. Nous voyons par exemple comme élément marquant les contraintes administratives vécues par les chercheurs français, ou le statut de la femme vécu par les chercheuses indiennes.

Les physiciens indiens

Ca va plutôt bien !

Le discours des physiciens indiens a été globalement peu réprobateur sur l'état actuel de la recherche. A la question « Que changeriez-vous dans la recherche ? » un physicien théoricien spécialiste des neutrinos estime ainsi que : « des réformes seraient nécessaires mais ca va plutôt bien » (A.J). D'autres répondent de manière similaire. Une telle réponse est plutôt rare dans le discours des physiciens français. Faut-il comprendre que l'état de la recherche est plus favorable en Inde qu'en France ? (la question portait sur la recherche en général, pas spécifiquement en Inde, mais elle a été souvent appréhendée localement). Ou bien que les Indiens sont de nature moins critique ou revendicatrice ? Il y a bien une certaine forme de fatalisme dans leurs discours : « c'est le courant des choses, il n'y a rien à faire, explique un physicien des particules, avant la science était autrement, aujourd'hui elle est ainsi, les méthodes d'évaluation évoluent avec les époques, selon les contraintes sociales » (L.L). Nous avons déjà rencontré cette forme de fatalisme dans la pensée indienne, concernant ce que nous avons appelé « le mode de pensée indien ». Il y a aussi le fait qu'ils ne se sentent pas forcément légitimes pour proposer des changements « qui suis-je pour donner un avis ? » rétorquent deux physiciens indiens. Ce sentiment de non-légitimité, nous l'avons vu également ailleurs (par exemple, sur la question de l'interdisciplinarité). Donc, le constat que « ca va plutôt bien » est en partie au moins lié à une forme de désengagement assez fréquent chez les Indiens, que ce soit du fatalisme ou de la non-légitimité. Nos entretiens ne nous permettent que de faire ressortir le ressenti des scientifiques, nous ne prenons pas leur discours comme une preuve de cette évolution. Mais nous pouvons la mettre en confrontation avec les données chiffrées que nous avons pu recueillir, ce que nous tenterons ici de faire le plus possible. Ainsi, le constat est indéniable que la recherche en Inde se porte mieux ces dernières années, et c'est peut-être ce qui fait dire que « ca va plutôt bien ». En effet, le gouvernement a augmenté le budget alloué à la recherche d'environ 20% chaque année depuis 2009⁷⁴. Ce nombre est à pondérer avec l'évolution de l'inflation, mais il y a néanmoins une

74 Source : Ministry of science and technology, notes on demand for grants 203-2014, demand n.85 Dpt of science and technology, Budget allocation. Nous avons également une donnée sur l'apport de l'Inde au "world global R&D" son pourcentage est passé de 1.6% en 2002 (12.9 billion USD PPP) à 2.2% (24.8 billion USD PPP) en 2007. Department of

augmentation sensible des moyens alloués à la recherche en Inde depuis quelques années : nombre d'instituts de recherche, salaires des chercheurs, postes, etc. sont en augmentation notable. Ainsi, par exemple, au TIFR de Bombay où nous avons mené une grande partie des entretiens, les salaires ont augmenté de 50 % au cours des dernières années, la plupart des professeurs gagnent maintenant de 50 000 à 100 000 Roupies par mois (1000-2000\$)⁷⁵.

Les problèmes de la recherche scientifique en Inde

Malgré cette « plutôt bonne » satisfaction, un certain nombre de critiques sont émises. Celles-ci portent sur l'état actuel de la recherche dans leur pays, et dans le monde. Chandra Wardana physicien devenu vice chancelier d'université résume les éléments essentiels pour faire une bonne recherche : « a supporting infra-structure of technology; a vibrant intellectual climate, libraries and colleagues to support intellectual effort ; some steady funding where politicians and businessmen do not attempt to micro-manage the scientists and academics » (Baron 2013 p2). Il constate que les pays en développement manquent de tout cela

Pourtant, ce qui ressort des entretiens n'est pas de cette nature. Au niveau national, les critiques portent sur quatre points principaux : l'enseignement des sciences, la gestion du personnel et la place des femmes dans la recherche et la mentalité peu novatrice et autonome.

Critique du système d'enseignement

L'aspect essentiel qui doit être amélioré en Inde, d'après les scientifiques interrogés, est le système d'enseignement, en particulier l'enseignement scientifique. La critique des physiciens porte sur différents points :

L'enseignement des sciences n'est pas suffisamment attractif pour les étudiants, ce qui fait, que ce ne sont pas les meilleurs élèves qui choisissent ce cursus. Plusieurs éléments rendent cet enseignement peu attractif :

- le manque de qualification des enseignants « En Inde, le métier de professeur est très peu valorisé, on ne le fait pas par choix, mais seulement quand on ne peut rien faire d'autre. Les enseignants n'ont pas un bon statut social et ils gagnent peu, du coup, ceux qui finissent enseignants le font par dépit, faute de mieux. C'est très mal payé », dit U.T. Pour mettre en perspective ce point de vue avec des données chiffrées, il faut connaître le salaire des enseignants et le comparer à d'autres types de salaires, comme celui des ingénieurs, profession apparemment bien mieux valorisée. Le salaire moyen d'un enseignant à l'université équivaut à 3350 euros par an à comparer avec le salaire moyen d'un ingénieur en programmation : 5200 euros par an, et 2460 euros pour un enseignant d'école élémentaire⁷⁶. Mal rémunérée, cette profession n'est pas non plus valorisée socialement : « This profession is not looked up as something brilliant or extraordinary. You do a science degree, a bachelor, because you can not do something else. It is paradoxal because if you want to be a researcher, you have to be among the best. In pure science you have to be very good » dit L.T.

- la place de la recherche dans l'enseignement des sciences. W.M estime que « le problème des universités est que les professeurs n'ont plus le temps de faire de la recherche donc ce ne sont pas forcément les meilleurs transmetteurs d'envie ». « L'enseignement est mal fait, il est surtout basé sur de la théorie, il n'y a pas vraiment d'expériences car les laboratoires scolaires sont peu fournis, donc l'expérimentation n'est pas un aspect valorisé et elle n'attire pas forcément les meilleurs élèves » dit L.Z. physicienne d'une soixante d'année, en physique des particules. Nous avons demandé à des élèves de master leur ressenti sur ce sujet, et ils estiment qu'ils auraient voulu en effet « être mis davantage en contact avec le

Science and Technology Government of India New Delhi. 2012. "Bibliometric Study of India's Scientific Publication Outputs during 2001-10. Evidence for Changing Trends" (July).

⁷⁵ Source : worldphysics special report India, decembre 2012 p.12

⁷⁶ Source payscall.com les données sont en roupies, nous les avons converties en euros selon le cours de janvier 2015

monde de la recherche, avoir des stages de recherche. Faire des expérimentations » (U.L et K.W). Le physicien W.M considère que c'est « le système d'éducation qui présente mal la science et qui rend peu attractive la recherche ce qui fait qu'on ne récupère pas les meilleurs éléments. Mais, dit-il, des instituts comme les Ces Indian Institutes of Science Education and Research (IISER) font un bon boulot dans ce sens ». Ce sont des instituts d'enseignement supérieur de très haut niveau. Justement, l'une des principales différences entre les pratiques des IISERs et l'enseignement des sciences dans les universités indiennes traditionnelle est l'accent mis sur la recherche. Tout est conçu pour faciliter un contact permanent des étudiants avec la recherche : les enseignants-chercheurs ont peu de cours magistraux, le temps d'enseignement ne représente pas plus de 20 %, mais ils encadrent des projets menés par les étudiants : c'est l'apprentissage de la science par la pratique de la recherche qui est visé. Parmi les diplômés des deux premiers lots des élèves à IISER Pune, près de 70% ont continué à faire un doctorat en sciences et 10 % sont impliqués dans la recherche industrielle et le design. Dans les universités classiques, seuls 25 % des étudiants poursuivent des carrières dans la science (Dacey 2012,p.28). Cependant il s'agit d'un système très sélectif. Nous avons déjà noté que l'Inde avait régulièrement misé sur l'excellence d'une petite élite au détriment de la majorité. Nous retrouvons cette idée dans la bouche de J.T, chercheur en physique statistique : "I think the overall progress of the society depends on the best of science".

Pour revenir à la mise en valeur de la recherche expérimentale dans l'enseignement, un astrophysicien regrette que ce soit si difficile de « recruter des étudiants motivés par l'astrophysique. Cette discipline n'est pas bien mise en avant dans les études car elle nécessite des instruments d'observation » dit J.O. La différence est ici frappante avec la France où les élèves motivés par l'astrophysique sont légion, mais les postes très rares. Nous avons vu que c'était une tendance marquée en Inde que la recherche soit davantage théorique qu'expérimentale, pour de nombreuses raisons, entre autres économiques, car les accélérateurs ou autres instruments d'expérimentation coutent très cher. U.N, post-doctorant en physique des particules au CERN explique cependant que « Parmi ceux qui font de la physique, il y a plus de théoriciens proportionnellement parce que traditionnellement les indiens sont plus théoriciens. Ils sont assez peu orientés vers les expérimentations ». Du coup, lui, au *College* a été peu initié à l'expérimentation, il l'a découverte en faisant des stages d'études et a choisi cette voie.

La critique est donc faite au système d'enseignement de ne pas rendre attractif le métier de chercheur. Cependant ce dernier n'est pas le seul responsable. La physicienne U.T dit : « L'autre problème, explique une physicienne du CERN est l'attractivité en termes de salaire des métiers de la recherche. En Inde, les gens ne choisissent pas leur métier par goût. Ils choisissent en fonction de leur besoin de faire de l'argent. Pour faire de l'argent, il faut avoir un diplôme, le plus gradé possible pour être mieux payé : ingénieur, manager, etc. Leur but est d'avoir un statut social, grâce à l'argent. Le problème des sciences en Inde est ce besoin de faire de l'argent, du business. [...]Mais notre société est dans un modèle de création de business. C'est surtout de ça dont il faut sortir. La science suit ce modèle imposé par la société ». D'après la jeune physicienne L.K, « In India, the best students become engineer, doctor or something technical ». Pourtant, le gouvernement a relevé les salaires, comme nous l'avons vu plus haut, en même temps qu'il augmente le budget de la recherche. « Le gouvernement a relevé les salaires des chercheurs mais cela n'a pas engendré plus de respect pour le métier de chercheur » estime-t-elle. Notons qu'il existe des différences selon les régions. Ainsi, L.Z estime par exemple que « le Bengale est un endroit très académique, où les gens préfèrent le savoir au fait de gagner de l'argent, ils s'orientent davantage vers les sciences que la finance. Par tradition Calcutta est ainsi ».

Les failles du système d'enseignement et de la mentalité *business* actuelle font donc qu'il y a un manque de bons candidats pour les postes de chercheurs. « On a des jobs et de l'argent, mais pas d'étudiants motivés. Ils préfèrent travailler dans des banques » estiment des élèves interrogés qui sont en master de physique (U.L et K.W). J.L, post-doctorant à Bombay en physique des particules, juge qu'en Inde, « on trouve facilement un poste de chercheur.» Ce qui est frappant, comparé à la France, c'est de manière générale l'inadéquation entre postes et candidats mais à l'opposé : en France, il y a trop de candidats pour les postes proposés, alors qu'en Inde, c'est l'inverse qui est ressenti.

La place des femmes

La proportion de femmes interrogées parmi les physiciens indiens (8 femmes sur 35) était le même que pour les physiciens en France. Cela représente une proportion de 23%. Nous avons voulu nous rapprocher du quota de femmes dans la recherche dans ces pays, mais ils sont fort différents. Ainsi, en France, la part des femmes dans la recherche est en moyenne de 28%, en Inde de 12% toutes disciplines confondues (United Nations Education 2007 p94). En physique, en moyenne 20% de chercheurs sont des femmes en France, avec des variations selon les domaines – notamment pour la physique théorique qui n'accueille que 10% de femmes⁷⁷. En Inde, le nombre de femmes dans les départements de physique des universités et instituts de recherche dépasse rarement les 10%. Cette proportion est relativement constante depuis une décennie (Godbole and al. 2005, p129). Mais elles représentent 30% des étudiantes de master de physique, 20% de doctorantes en physique. Comme nous avons interrogé des physiciennes en poste mais aussi des doctorantes et des étudiantes de master, il était difficile d'avoir une proportion représentative. Et cette proportion de 8 femmes sur 35 dans nos entretiens nous a semblé un compromis convenable pour représenter le point de vue féminin.

Le problème de la place des femmes dans la recherche n'a pas été une seule fois évoqué par les physiciennes françaises, alors qu'il a été systématiquement évoqué par les physiciennes indiennes quelque soit leur âge et leur discipline. L.K, une jeune post-doctorante en physique théorique souligne ainsi que la faible proportion de femmes dans sa discipline est un problème pour elle. La physicienne nucléaire Y.N dresse le même constat. « Il n'y a pas assez de femmes, surtout en maths et physique. Alors qu'il y en a beaucoup en biologie et en médecine. C'est aussi vrai aussi aux USA, en Allemagne, moins en Italie, en France il me semble ». Ces physiciennes estiment que l'Inde est un pays où « it is difficult to be a scientist, and it is even more complicated when you are a woman. As a woman, it was hard to become a scientist. You're supposed to get married and have children » (L.K). D'une part, les femmes sont supposées se marier, c'est leur principale fonction au sein de la société indienne, et avoir des enfants. Et c'est souvent incompatible avec une carrière de chercheur, où les études sont longues et les séjours à l'étranger nécessaires. D'autre part lorsqu'on est une femme, et que l'on travaille avec des hommes, on est confronté à la jalousie des hommes, qui ne supportent pas qu'une femme soit supérieure hiérarchiquement explique la physicienne K.X : « Being a woman is always a problem because they do not want to take you on a challenge. It is a usual problem ». Concernant la physique et les mathématiques, ce sont des disciplines supposées difficiles pour des femmes, encore davantage pour les mathématiques. Les deux doctorantes L.B et L.J auraient voulu faire des mathématiques, mais elles ne leur ont pas été conseillées, car soi-disant trop difficile pour les filles. Elles se sont rabattues vers les physiques théoriques, où elles sont encore moins représentées que dans les autres branches de la physique. L.Z, physicienne plus âgée raconte qu'à son époque, « si on était bon en maths ou

⁷⁷ source DGRH MESR2012-2013 et CNRS, bilan social 2012

physique ou nous dirigeait vers ça car on manquait d'ingénieurs à cette époque. Dans son milieu, on incitait volontiers à faire des études, et en master, il y avait au moins 30% d'élèves qui étaient des filles, une plus grande proportion qu'aux USA. Mais ensuite, la pression sociale pour se marier, et le fait de s'occuper des enfants, du foyer, leur faisaient lâcher leurs ambitions. Elle, ses parentes ne l'ont pas incité à se marier (elle l'a fait plus tard) » Nous avons en effet remarqué plus haut que la proportion des femmes dans les secteurs de la physique chute au-delà du doctorat. R.W, l'une de ces huit physiciennes interrogées est particulièrement impliquée dans la place des femmes dans la recherche indienne, elle a écrit des ouvrages sur le sujet. Son argument est que « Du fait de leur éducation, les femmes il faut le reconnaître pensent différemment que les hommes. Donner plus de place aux femmes c'est favoriser la diversité, et la diversité est productrice de savoir ». Donc pour que la recherche évolue, elle doit favoriser la place des femmes. Nous n'avons pas d'explication immédiate pour cette disparité entre la revendication des physiciennes indiennes, comparée à l'absence de revendication sur ce sujet des femmes françaises. Une explication pourrait être que les physiciennes indiennes qui ont réussi à devenir physicienne ont toutes eu un parcours difficile, et qu'elles tiennent à changer cet état de chose ; de plus, le statut de la femme est un enjeu important en Inde aujourd'hui, et se montre de manière générale, plus problématique qu'en France. Le ressenti des femmes sur ce sujet se montre donc plus vif. Le gouvernement a lancé quelques mesures visant à aider les femmes dans la recherche : des horaires de travail flexibles, la possibilité de travailler à domicile en cas d'enfants en bas âge, la mise à disposition de crèches dans les campus, etc. (Priyadarshini 2011). Mais l'enjeu majeur pour ces femmes reste leur choix de carrière. Un article de Shastri résume la situation : “there exists gender inequity within science practice, and the imbalance is entirely attributed to society “outside” of it. Second, there are gaps between the intent and implementation of governmental initiatives; for example, the “skill building workshops only for women” clearly miss the important point that women lag behind not because of lack of caliber, but because they are discriminated against. Third, the negative impact of patriarchy in family decision making with regard to choice of subjects of study and of careers continues to be significant. Finally, it has been argued that there may be paradigms embedded or hidden in the practice of science that contribute to gender inequity” (Shastri et al. 2013, p107).

Mode d'évaluation, de sélection

Le manque de rigueur dans l'évaluation et la gestion des postes et carrières scientifiques en Inde a été souligné par plusieurs chercheurs. K.X affirme explicitement qu'en Inde, l'évaluation des chercheurs n'est pas suffisante : « People are selfish. The Indian government does not have a proper way of evaluating the end result. Corruption is one problem in India. [...] So sitting in Delhi, they will decide, Okay, India should take part in some projects. So they grant money, but what about the other representations? If you grant money, after three years, you review. What's have you done with the money? It's not happening ». Elle n'est pas la seule à faire ce constat. L'un de ses collègues critique le fait que l'accès aux postes ne se fasse pas sur le mérite mais sur les relations (L.W). Quant à la gestion de l'activité des scientifiques, elle est également critiquée : « les scientifiques gaspillent l'argent, mentent en disant qu'ils partent pour une conférence alors qu'en fait, ils se baladent. Et pendant ce temps, des millions de gens manquent d'argent. Il faudrait plus de chercheurs, mais qu'ils soient moins individualistes » dit K.M. D'après K.P, « Il y a beaucoup d'argent pour la recherche en Inde, mais il est mal géré. » L'impression qui ressort, c'est que la gestion de la recherche en Inde n'est pas conduite de manière rigoureuse, tant sur le processus d'évaluation, que de la gestion du personnel et des financements. Cela est résumé par le post-doctorant U.X : « il manque de *leadership* en Inde, pour cadrer et diriger la recherche ».

Pour résumer les principaux problèmes de la recherche en Inde, telle qu'elle est ressentie par les physiciens : il y a des postes, il y a de l'argent, mais il est mal géré, mal réparti (inégalité liée au genre mais aussi à l'accès aux meilleurs instituts) avec un manque de bons candidats et une mauvaise gestion de leur compétences.

Mentalité peu novatrice et peu autonome

Une autre critique a également été beaucoup formulée, qui porte davantage sur la mentalité dans la recherche en Inde. Plusieurs physiciens ont souligné le caractère étouffant des environnements de travail où on ne permet pas à de nouvelles idées de s'exprimer librement. Nous pouvons la résumer sous les termes de « mentalité peu novatrice et peu autonome ». L.T explique ainsi : “We do science because other do science. They don't have internal drive, that is why they don't master in science. They don't believe in transforming person. Plus grand prestige de ne pas s'occuper des garbages, most important theorical beauty. If western say most important to take care of garbage, they will do so. They don't think science is for garbages, it is for prestige. So many money for that. But who will read the papers ? Indian are not doing very weel in science, because they are submitted to a strong thema : they lack self confidence. There is a French mathematician who said, that the big deal is to find theorems, justify or demonstrate them are for ‘imbeciles’”. J.T décrit mentalité à sa manière : “I would not want to make very general statement, but I think that in general we can say that people in India are often more narrow in scope than USA. I don't know exactly, but they are quiet sort of limiting scope, often. Not everybody but often”. Une journaliste scientifique indienne a écrit dans un article, *Beeing a scientist in India*, au sujet de la manière dont la science indienne est accusée de faire du « copycat science » dupliquant le travail déjà mené dans les pays occidentaux (Priyadarshini 2011). N.J explique : “in India we are following the west. Rather, we should pursue this on our own (have our unique methodology of research), ask the important questions which are of more concern to us. But I think this trend of research is prevalent elsewhere as well, the important questions which should concern us are imposed (upon us) by the west. I think, till the time this trend continues, the real science will not develop in this country. Until you ask your own view's questions and postulate on those basis”. “Why can't we ask some questions which is different from (the stated ones), questions which are essential to us, which we follow? Most of us just follow them (referring to the western theories). Let me give you an example: I think Indian scientists are not very good at continuing research on water etc, which are burning questions (important areas of development) for India. Not many Indian scientists are putting their efforts towards these kind of research.” Le jeune J.L déplore également que les scientifiques indiens étudient ce qui est à la mode, ce qui vient de l'Occident : « si on leur disait il faut étudier les poubelles, ils le feraient » Ils manquent d'autonomie dans leurs choix. D'après la physicienne U.T, “If it is not you who built a computer, you will not try to work on it, you will protect it. And in India, when the first computers came from America, they didn't try to fix it, to tuch it, there were retire their chooses, not to pollute it, they were doing rituals. We do not build computer here in India”.

Quelles sont les raisons de ce manque d'autonomie ? Est-ce un effet post-colonial ? Nous avons en tous cas plusieurs scientifiques qui semblent de cet avis. Ainsi, U.T, physicienne, proche de la cinquantaine reconnaît qu' « un scientifique indien qui travaille en Inde ne se sent pas vraiment connecté à la communauté scientifique mondiale, à moins d'être une sorte de génie pour qui tout semble possible et accessible. Les Indiens sont plutôt défaitistes, timides. En Inde, on a peu confiance en nous, du sans doute à des raisons historiques (coloniale et hiérarchie mais aussi à la complexité de l'administration, tout est toujours difficile), donc, on ose assez peu prendre les devants Un américain, lui, va arriver sans

prendre de gants et tout prendre en main. » Selon L.T, « You must have a strong self confidence to propose a theorem that you can not demonstrate. Indians loss self confidence, partially because they don't have models, in their own history”.

Les problèmes de la recherche dans le monde

Concernant les problèmes mondiaux de la recherche, les discours des physiciens indiens entonnent une rengaine largement partagée par leurs collègues français. La première de ces critiques concerne le *publish or perish*, puis la place de la recherche fondamentale, et des éléments que l'on ne trouve pas chez les Français : l'étroitesse du savoir scientifique et l'orientation éthique de la recherche.

Publish or perish !

Le processus de sélection des chercheurs sur les indices de publication est le principal problème souligné par les Indiens au niveau mondial. Ce processus ne semble pas affecter fortement les carrières en Inde pour le moment (comme nous l'avons vu plus haut, c'est davantage le réseau qui compte), mais les physiciens l'ont ressenti dans les pays où ils ont pu séjourner, par exemple en France ou aux Etats-Unis et ils commencent à le ressentir en Inde. "I think some specificity of science is actually quiet detrimental. One is the overemphasis of citation counts, as the miracle of the goodness of science. I think it is overused. So now people don't read the papers, they just see how often their paper has been cited. This is the growing trend, and unfortunately our government seems to encourage these kinds of trends" dit J.T. Donc, ce qui est mis en cause est le manque d'approfondissement corrélé à cette course à la publication. Il y a une revendication pour moins de quantitatif et plus de qualitatif : « Le *publish or perish* est de la responsabilité des institutions scientifiques et des scientifiques eux-mêmes. C'est à eux de trouver des formes d'évaluation qui ne soient pas quantitatives » estime R.W. Cette prépondérance du quantitatif induit une forme de pression sur la publication. Selon U.X, « Il faut diminuer la pression et prendre plus de plaisir, pour pouvoir être moins rapide à produire ».

Un savoir moins étroit

Cette critique du mode de publication n'est pas indépendante d'une autre critique formulée à l'égard de l'étroitesse du mode de pensée scientifique. « Publish less, think more” ! revendique le théoricien T.P. « Trop de publications, pas assez de réflexions », explicite-t-il. Avant les gens étaient des “natural philosophers”, ils avaient un savoir moins étroit. Lui a fini par ne plus se préoccuper de ce que pensent les gens de son travail, maintenant qu'il a un poste stable, et qu'il est reconnu, qu'il a trouvé des gens dans d'autres pays qui pensent comme lui, il se permet de faire des recherches qu'il juge moins étroites, notamment sur la gravité quantique et la relativité.

Cette impression d'étroitesse d'esprit est partagée par d'autres physiciens, la plupart théoriciens. Cela paraît cohérent, car la physique théorique se place à un niveau d'abstraction qui permet de se situer entre plusieurs domaines de recherche, comme nous au sujet de l'interdisciplinarité. N.J, théoricien de la gravité se réjouit ainsi de travailler aussi bien sur la théorie quantique ou la super-symétrie, et critique les esprits trop étroits de la recherche actuelle : “The way in which science is done here, it's a very competitive manner. With people focused on a very narrow area of their interest. They don't even cover the entire theory, theoretical inquiring is not done from all the required aspects, they are only concerned on the problem they working on. It's actually against the spirit of any intellectual enquiry. You ought to deflect and ponder about things rather than narrowly keep on publishing papers in the narrow area that you've designated for yourself. This, unfortunately, leads to the situation that you publish papers without giving a serious thought. And what you publish, in this entire process, is truly abstract. It has no relevance. This is clearly a trend that we are

witnessing and I do not support it. Anyway, I'm happy that I don't follow this sort of trend. [...] I think, till the time this trend imposed by the west continues, the real science will not develop in this country. We should discourage the concept of rat-race: the idea of continuously working on something without putting much thought to it"⁷⁸. C'est aussi l'avis de K.L, théoricien des cordes qui estime qu'il n'y a pas assez de philosophie, dans le cursus des étudiants et chez les chercheurs, « alors que les questions philosophiques sont essentielles dans la physique d'aujourd'hui, si on veut lever des impasses, on ne peut pas se contenter de dire que ça marche, estime-t-il. L'expérimentatrice Y.N partage aussi cet avis : « Les gens aussi se perdent dans les détails, ne réfléchissent pas assez ».

Développer la recherche fondamentale

La volonté de rendre la réflexion plus large et plus profonde nous semble s'associer avec le souhait assez partagé par les physiciens de développer la recherche fondamentale. En effet celle-ci a pour spécificité de ne pas chercher à se décliner en une application immédiatement utilisable. Elle est donc généralement plus large. Ainsi le physicien R.K assimile une recherche moins appliquée à une recherche moins étroite. «I think we should not compartmentalize so much. We should unify things more than we do now.[...] And there should be a large part of science which should be founded just for answering questions. Of course we have the Higgs Boson, kind of research which has taken huge money, but if you look at small science it looks like even small scientist becoming all over the world like - see my colleagues - trying to formulate complete proposal, how he knows what he will find out“. On remarque aussi dans cette phrase l'opposition entre des expériences qui prennent beaucoup d'argent (*huge money*), telle que la recherche du boson de Higgs, et la *small science*. Ce trait est également souligné par le théoricien A.J, spécialiste des neutrinos, pour qui « l'argent est trop centralisé sur les grosses expériences ». La jeune cosmologiste L.J aimerait aussi avoir « plus de temps pour penser aux choses fondamentales ». Le physicien K.M considère avec recul que « depuis cinq ans, la science dans le monde sélectionne des candidats davantage pour l'argent qu'ils peuvent rapporter », donc en fonction du caractère appliqué de leur objet de recherche. Pour lui, « les Chinois ont bien compris l'importance de préserver la recherche fondamentale , les Indiens commencent juste ». Le point de vue de L.X, physicien indien travaillant en France depuis quinze ans, est particulièrement éclairant car il dispose d'une expérience dans deux modèles différents de recherche : « le problème, dit-il, c'est qu'on suit le modèle des USA. Et le modèle des USA est guidé par la rentabilité, alors qu'en France, il n'y pas si longtemps on avait encore une recherche autonome qui permettait de pousser les sujets à fond. Aujourd'hui, on publie très vite, et quand on est bloqué, au lieu d'approfondir le sujet, vu qu'on doit publier à fond, alors on change de sujet. Ça empêche de faire de la bonne recherche fondamentale. Il faudrait revenir à l'autonomisation, par les fonds publics, du CNRS. Aujourd'hui, les comités de recrutement font n'importe quoi. Par exemple, les gens qui pratiquent la physique des particules ne connaissent pas les autres disciplines, et ça c'est vraiment nouveau. Je vois les étudiants, ils sont spécialisés très tôt. Je vois à la commission nationale du CNRS, c'est comme ça. Les gens de la physique des hautes énergies n'arrivent pas à juger quelqu'un de la physique

⁷⁸ « La façon dont la science est faite ici est très compétitive. Les gens se concentrent sur un domaine très étroit. Ils ne couvrent pas même la théorie entière, l'enquête théorique n'est pas effectuée sur tous les aspects exigés, ils sont seulement concernés par le problème sur lequel ils travaillent. Cela va à l'encontre de l'esprit de l'enquête intellectuelle. Les gens devraient remettre en question et réfléchir sur les connaissances plutôt que de continuer étroitement à publier des papiers dans le domaine étroit qu'ils ont choisi. Ceci, malheureusement, mène à la situation qu'ils publient des papiers sans réfléchir sérieusement. Et ce qui est publié, avec ce type de processus, est vraiment abstrait. Cela n'a aucune pertinence. C'est clairement une tendance dont nous sommes témoin et je ne la soutiens pas. De toute façon, je suis heureux de ne pas être dans ce cas. [...] Je pense que tant que cette tendance imposée par l'occident perdurera, la science ne pourra guère se développer dans ce pays. Nous devrions décourager cette foire d'empoigne : l'idée de travailler sur quelque chose sans y apporter beaucoup de réflexions. »

statistique. Je pense que c'est un peu dommage, il y a quinze-vingt ans, les gens avaient une culture un peu plus élargie, un peu plus large. Et là maintenant, c'est très spécialisé ». Ce même chercheur estime que c'est aussi le cas en Inde : « Avec la pression des publications. Les gens n'ont pas le temps. On a suivi les Etats-Unis. On est jugé en fonction des subventions (*grants*) dont on dispose, on n'a pas le temps de faire de la recherche un peu profondément. Avant les laboratoires de recherche étaient organisés différemment en France, les gens avaient plus de temps, dit-il. Pour le physicien J.T, qui exerce à Bombay, ces aspects ne gênent pas les progrès de la science, « but they make the life of scientist less satisfactory, less enjoyable ».

Pour le bien de la société

Plusieurs physiciens indiens ont répondu à la question de « ce qu'il changeraient à la science » sur un point qui n'a jamais été évoqué par les Français à savoir les enjeux sociétaux et éthiques de la recherche. Le physicien K.P estime qu'il faut prendre en compte le fait qu'on vit sur une planète finie aux ressources limitées et que la recherche doit être publique pour choisir de bonnes orientations. Pour J.T, ce sont des thèmes de recherche qui ne doivent pas être poursuivis, la science ne doit pas s'intéresser à tout : « Certainly, I can say that there are some kind of things that we don't need to investigate further, because trying to learn them causes more harm than the good expected to come out of learning them. So, some kind of limitations on the type of experiments we do. Some kind of experiments should be avoided if it is culturally undesirable ». Un autre estime qu'il faut donner la priorité à des thèmes tels que l'environnement ou la santé. Le jeune U.N reproche à la science son côté utilitaire mal orienté. Il cite la bombe atomique qui est d'ailleurs étudiée dans son Institut de recherche. Il pense que « seules les bonnes personnes devraient faire de la science ». Un autre chercheur, C.H, estime que les scientifiques doivent travailler pour le bien de la société et non pour faire des armes. Pour autant, estime-il, ce n'est pas à la société de choisir les thèmes de recherche des scientifiques : Il faut laisser les scientifiques choisir les orientations, car eux savent mieux ce qui est important, dans quelle direction chercher. U. J et R.W sont de cet avis, pour eux, la société ne peut pas juger de l'utilité de telle ou telle recherche fondamentale. Elle n'en a pas les compétences.

Comment risque d'évoluer la recherche en Inde sur ces différents aspects ? U.J estime que « Pour l'Inde, je pense qu'on peut développer quelque chose de spécifique, des spécificités locales, comme c'était le cas il y a quelques années en France, mais ça risque de prendre du temps, à courte échéance, le pays va plutôt continuer à suivre le modèle américain, car ça reste un pays leader en recherche » C'est difficile à prévoir, les chiffres indiquent une tendance vers l'augmentation des budgets et du nombre de postes, les opinions des chercheurs indiquent des points faibles qui ne semblent pas évoluer.

Il est étonnant de constater que nulle critique n'a été faite au sujet du traitement bureaucratique de la science – qui est pourtant légendaire. Plusieurs explications possibles : l'habitude, ou le fait que ce ne soit pas un problème aussi important que ceux qui ont été mis en avant.

Point de vue des physiciens français

Problèmes de la recherche en France

« *Ca va* »

Nous avons vu que les Français étaient encore moins enthousiastes sur l'état général de la recherche. Et nous allons voir pourquoi. Nous devons cependant évoquer ces deux physiciens qui en sont satisfaits. P.Z « ne changerait pas grand-chose » Il apprécie notamment le lien entre recherche fondamentale et recherche appliquée : il applaudit les dépôts de brevet par des physiciens du domaine public, qui utilisent leur recherches fondamentales pour des applications industrielles (vulcanologie, détecteur de muons), ce qui leur permet d'innover. X.P trouve que « la France tient bien son rang, car elle a l'université et les grands organismes de recherche, c'est différent d'autres pays comme la Grande Bretagne où tout se passe dans les universités. En France, historiquement il a fallu autre chose que les universités pour que la recherche se développe vraiment, avec la fondation du CNRS. Ca, je pense qu'il ne faut pas y toucher. Sinon, j'ai regretté de ne pas pouvoir enseigner davantage, de ne pas avoir assez de souplesse. Mais à part cela, je n'irai pas faire de critique révolutionnaire pour tout chambouler ». Ces deux personnes sont loin d'être caractéristiques du discours général que nous allons voir, mais il nous a semblé honnête de laisser une place pour leur ressenti positif.

Trop d'administratif, recherche de budget, rentabilité

Nombreux sont les physiciens interrogés à se plaindre de la surcharge administrative, du manque de souplesse et du manque de temps disponible au final pour la recherche. C'est le point le plus soulevé et quasi unanimement critiqué. Ainsi J.J se plaint de la stratégie de la recherche en France, où les dossiers administratifs - HCERS, conseils scientifiques, etc.- représentent plusieurs années équivalent chercheurs. Cela conduit dit-il à un manque de productivité incroyable. Et les journées sont fractionnées. « Dans le système actuel, tout est réglementé, il faudrait le contraire. J'introduirai plus de souplesse. On a appris à réfléchir, on est grand. Par défaut dans le système actuel on commence par réglementer, et il faut vraiment contourner les règles pour avoir un peu de souplesse. Par défaut il faudrait que ca soit souple, et si ca ne marche pas, introduire des règles pour ceux pour qui ca ne marche pas. » Il réduirait les aspects administratifs, pour que les gens aient de vrais espaces de réflexion. Il cite l'exemple des USA, où les chercheurs sont libérés des charges administratives et d'enseignement s'ils le souhaitent. « A Princeton les chercheurs viennent en familles, et les disciplines sont mélangées, les gens se fréquentent dans un immense parc. Les ponts se font plus facilement. Il y a une production extraordinaire ». L.P. va dans le même et regrette la perte de temps passée à répondre aux évaluations, faire des dossiers de subvention. « Le CERN, dit-il, prouve que la collaboration marche mieux que la compétition ». La physicienne H.I trouve qu'« Aujourd'hui les demandes de recherche de financement, ca devient très chaotique l'organisation de la science. Ca vient de la multiplication des couches administratives, des entités administratives ». « Pour avoir un financement, raconte F.I, je dois faire 5 dossiers au lieu d'un seul, à 5 organismes de financement de la recherche. 5 personnes vont analyser mon dossier. Et je vais le défendre 5 fois. Quel intérêt ? ». Les plus anciens ont observé le changement progressif de l'état de la recherche en France. W.I a eu dit-il, la chance de démarrer dans les années 60 dans une ambiance propice sans soucis matériel. Depuis, il estime que la situation s'est dégradée et qu'elle est aujourd'hui « épouvantable ». Les deux physiciennes N.X et N.T estiment qu'elles ne font plus le même métier que quand elles ont commencé, aujourd'hui, elles s'occupent beaucoup trop d'appels à projets, passent plus de temps à rechercher des financements qu'à faire de la recherche. Pour CC, les scientifiques passent leur temps à dresser des rapports, et il trouve que ce n'était pas le cas avant les années 80. Le physicien J.Y, bientôt à la retraite, raconte que « pendant des années, on nous a

persuadé que le meilleur système était anglo-saxon avec des chercheurs non permanents, des appels à projets, etc. Une des chances de la France avant les années 80 était d'avoir un régime complètement différent. Cette spécificité est en train de se perdre et c'est dommage ». Pour E.I., il n'y a pas assez de financement récurrent, ils fonctionnent trop sur projet. « Ca a beaucoup changé en 10 ans, pas en bien ». Les dernières années ont semble-t-il empiré les choses, « sous l'ère Sarkozy, dit encore J.Y., les grands changements introduits avec les ANR etc., ont stimulé une recherche avec des résultats immédiats. Il faut être compétitif. Les conséquences fâcheuses de tout cela c'est la précarité, la course aux projets, on va trop vite au détriment de la qualité de réflexion ». La physicienne U.U. estime « qu'avant, le système était super, il permettait aux gens d'être créatifs. On est en train de le casser pour ressembler au système américain. On a fait un système hybride qui concentre les pires difficultés des deux mondes. On transforme les chercheurs en chefs d'entreprise. Et en même temps on leur impose une lourdeur administrative. Lourdeur et défiance. La communauté administrative ne connaît pas la communauté des chercheurs. L'astrophysicien U.Z a vu l'augmentation exponentielle de la bureaucratie. Il passe son temps à demander de l'argent mais pas à l'utiliser. Il estime qu'il n'a pas été formé pour gérer des budgets. Et que surtout ce n'est pas sa vocation. Un chercheur n'est pas un gérant, dit-il. Y.R estime aussi que la « réforme imposée il y a dix ans, a eu plus d'effets nocifs que de bienfaits. Cela s'est cumulé avec la crise économique. » Les chercheurs reçoivent moins de crédits du gouvernement, ils sont obligés de tronçonner les projets pour les soumettre devant les financeurs, ce qui les rend moins réactifs. « Cela est vrai dans nos disciplines, explique-t-il. Pas nécessairement dans d'autres disciplines qui sont peu couteuses et qui ont des résultats à temps courts. » Il y a une demande pour davantage de moyens publics. Le jeune Y.Z remarque une orientation vers le privé, qui profite à l'industrie, il y a aussi plus de sous-traitance. Il estime que la recherche ne doit pas répondre à des besoins de profit, ni d'application à court terme plus qu'à long terme. Tout le monde se plaint observe J.Y., « mais personne ne lutte. Il faut faire quelque chose ». P.X pondère ces propos : il rappelle que la France est le seul pays où l'on peut être permanent (fonctionnaire, CDI) sans avoir de responsabilité d'encadrement d'équipe. En Allemagne, en Suisse, par exemple, les chercheurs non-encadrant n'ont que des contrats temporaires (5 ou 10 ans). En Allemagne et en Suisse, une thèse dure 5 à 6 ans, dit-il.

Hiérarchie de la recherche

Le fait que les décisions viennent d'en haut est un enjeu fréquemment soulevé. « La recherche ne se pilote pas par en haut » estime X.P, qui critique notamment le manque de diversité des zones de recherche. En physique, il estime ainsi qu' » on a mis nos billes dans le même sac : le modèle standard. Il n'y aucune recherche sur les théories alternatives. » Il faut laisser de la créativité. L'université a trop tendance selon lui à cibler les sujets de thèse pour les étudiants. Y.Z estime quant à lui qu'il faudrait une refonte du système de gouvernance des universités, de la démocratie. Et une physicienne n'apprécie pas la conduite par le haut des enseignements de la science, avec des programmes changeants sans vision.

Plus de lien avec la société

Un autre point a été assez souvent soulevé pour mériter un paragraphe. Il s'agit du lien science/société. Ainsi, pour J.Y., le grand public et les contribuables ne prennent pas la recherche au sérieux. H.I estime qu'il y a un problème dans la façon de la transmettre la science au reste de l'humanité. « Le regard du public de la science est encore très archaïque » dit-elle. Pour améliorer cette relation, elle pense qu'il faut améliorer l'enseignement et l'interface grand public. Elle-même s'engage d'ailleurs en ce sens, en développant des actions scientifiques pour les publics « défavorisés ». Un autre chercheur (X.U) remarque « un problème de sur-spécialisation. On ne sait plus traiter de problèmes simples. Du coup, cela crée un manque de communication société/science ». Pour I.I., « la communication des médias

sur les découvertes scientifiques est mauvaise, les gens ne s'intéressent qu'au foot, les hommes politiques manquent d'intérêt dans la science. » Pour remédier à cela, il faudrait, d'après J.X « Plus de transdisciplinarité, de pragmatisme. Il faudrait développer une culture scientifique ».

Les soucis des jeunes

Les doctorants ne sont pas encore trop confrontés aux lourdeurs administratives. Ce n'est donc pas ce qui les préoccupe. Ce qui les touche en premier est qu'ils ne peuvent pas faire ce qu'ils veulent. X.I, par exemple, aurait voulu faire de la physique appliquée, il fait de la physique théorique, pour E.T, c'est l'inverse, il voulait faire de l'expérimentation et il fait de la théorie. Ils mettent cela sur le dos du manque de postes, qui poussent les candidats à prendre ce qui vient. Mais également à la spécialisation qui rend la recherche moins intéressante. « Vu le niveau de complexité, il faut beaucoup de gens qui font des choses pas intéressantes ».

Il y a aussi l'excès de mobilité, « Les doctorants sont davantage incités à la mobilité internationale en France, dit P.X. Dans les autres pays que je connais, quand on est chercheur et que l'on aime bien un doctorant, on le garde auprès de soi, en France, on l'incite à s'ouvrir vers l'extérieur. »

Problèmes de la recherche dans le monde

Le problème principal qui concerne la France, c'est à dire la lourdeur administrative, est considéré comme essentiellement français. « Ce n'est pas le cas dans d'autres pays, explique le physicien I.I, l'Allemagne, la Norvège, l'Inde, où je vais souvent, [...] avec une vraie volonté politique pour la recherche. » Le fait que « les chercheurs ne peuvent plus travailler tranquillement, sans se soucier de problèmes matériels. Ce n'est pas le cas dans les pays émergents. » I.P, physicien indien, en post-doctorat en France fait le même constat. « En France, il y a trop d'administration, les chercheurs sont des « managers de la recherche », ils n'ont plus le temps de faire de la recherche. Aux USA, c'est différent, les directeurs de laboratoires font de la recherche ». Les problèmes qui touchent la recherche dans le monde sont donc différents de ceux qui touchent la France, même si certains sont bien sûrs partagés.

Publier ou périr

Comme pour les Indiens, la course à la publication est le principal problème soulevé pour la recherche dans un contexte mondial, quoiqu'il soit moins cité par les Français que par les Indiens. Ainsi X.U évoque le « Publier ou périr, et le problème de l'accès aux revues, de plus en plus chères. » E.C. et W.W condamnent l'évaluation et la compétition liés au « publier ou périr ». Pour L.P et J.R critiquent la compétition qui n'a rien de stimulante.

Disciplines

La question de l'interdisciplinarité était un aspect plus important pour les Français que pour les Indiens, comme nous l'avons vu par ailleurs. Cela se confirme avec les quelques rappels adressés à ce sujet dans le cadre de cette question sur les problèmes de la recherche. Quoique les Indiens aient évoqué l'étroitesse du savoir, celle-ci était moins liée au problème de la sur-spécialisation qu'à une ouverture d'esprit. Pour les Français, dans ce domaine « ce qu'il faut améliorer dans le monde de la recherche, c'est le fait de « mettre plus de ponts entre les disciplines » (U. Y) et favoriser la collaboration (P.Q ou N.I).

Recherche fondamentale

Tout comme pour les physiciens indiens, la recherche fondamentale est un sujet de préoccupation parmi les physiciens français. X.Z constate que « ceux qui commandent la recherche ce sont les Etats et ils ont des objectifs de compétitivité, de productivité et donc,

forcément ils commanditent une recherche appliquée et spécialisée. Sans se rendre compte qu'ils détruisent recherche fondamentale. En même temps c'est difficile qu'un Etat qui a des moyens limités va accepter à pure perte de développer des projets. Le mouvement que j'ai observé depuis plusieurs années c'est le contraire. Ca n'a cessé continûment. Alors que les moyens financiers étaient auparavant alloués par laboratoire, maintenant ils sont donnés sur chaque projet. Si les laboratoires voulaient mener des recherches non appliquées, avant c'était possible. Plus maintenant ». X.K confirme ce changement. Il évoque les recherches qu'il a pu effectuer dans le passé et qui n'avaient aucune application en vue, sur les symétries de la table périodique des éléments, bien qu'elles aient fini par en avoir. « Avant c'était plus facile, la recherche ne cherchait pas à être utile. » L.I confirme lui aussi, « il n'est plus possible de se lancer sur des pistes où l'on n'est pas sûr de réussir. Dans les projets on doit dire comment on va y arriver. Et qu'on a des chances d'aboutir ». Mais la France n'est pas la pire. L'exemple de la Grande Bretagne est donné, où il semble que même les salaires sont suspendus à un projet. Le salaire est financé par la ressource que le scientifique a trouvée pour mener le projet. Y.Z interroge : quelle est la finalité que l'on attribue à la vie humaine, comment on la conçoit, si c'est la compétitivité, ça reste cohérent. Mais est-ce la finalité ? La recherche fondamentale pâtit également du besoin de justifier une recherche sans pouvoir laisser ouvert le champ, « on cherche ce que l'on trouve du coup, et on déploie des moyens dans des champs déjà balisés » (W.W). Ce chercheur propose une année « sabbatique » de recherche pour laisser la possibilité de faire des recherches à la marge.

Conclusion sur les problèmes de la recherche

Cette comparaison sur le vécu des problèmes de la recherche nous permet de mieux comprendre les enjeux actuels de la science dans le monde, et de voir qu'ils ne sont pas vécus de la même manière dans les différents pays. Nous pouvons constater un consensus sur des points qui touchent tous les chercheurs, comme par exemple, la course à la publication (*publish or perish*) ou l'étroitesse du savoir disciplinaire. Mais nous avons pu voir que les stratégies de recherche au niveau national induisaient des différences fortes sur le vécu des chercheurs. La France est ainsi marquée par un excès de bureaucratie, de manque de souplesse et de recherche de rentabilité qui nuit à la recherche et au bien-être des scientifiques. Cette dernière orientation s'explique par des choix politiques influencés par la tendance anglo-saxonne d'autonomisation de la recherche mais aussi par un contexte économique néolibéral qui pousse les Etats à rentabiliser la science. L'Inde, quant à elle, vit une montée en puissance de ses outils de recherches : augmentation des postes, des salaires, des infrastructures. Et la gestion humaine ne se révèle pas en adéquation. Les vieux modèles de hiérarchisation sociale sont toujours présents et influencent la place des femmes, l'évolution des carrières, les origines sociales, ... Nous verrons avons vus ailleurs que les hautes castes prédominent encore parmi les chercheurs, ce qui n'est pas sans conséquence sur le choix de recherche (théorique plus qu'appliqué), ou l'évolution des carrières (par réseau). Le modèle coloniale y laisse aussi quelques traces, comme le manque de confiance et d'autonomie que nous avons évoqué et que nous reprendrons plus loin dans cette partie.

Enfin, ce que cette comparaison nous révèle fortement, c'est l'inadéquation entre la formation des étudiants (lacunes du système d'enseignement), leurs attentes (priorité au salaire, à la reconnaissance sociale) et la volonté politique d'une Inde forte sur le plan de la recherche. Cela semble témoigner des enjeux des pays émergents pour la recherche mondiale. L'avenir de la recherche semble clairement se dessiner sur ces enjeux-là.

Annexe 11. Observations à propos de la jeune génération de physiciens indiens

Nous avons remarqué, au cours de nos entretiens, des différences assez nettes entre les jeunes physiciens indiens et leurs aînés. Nous proposons donc ici, d'illustrer une tendance à partir de quelques parcours de physiciens indiens – comment ils sont devenus physiciens, par tranche d'âge, afin d'identifier une évolution. Cela nous permettra de mieux saisir les particularités de la jeune génération de physiciens indiens.

Evolution de l'univers social du chercheur en Inde, une question d'âge

60-70 ans

Comme l'expliquent les physiciens rencontrés dans la tranche d'âge 60-70 ans, dans leur jeunesse (qui se situe autour des années 1950-60), l'éducation n'était pas automatique pour les enfants mais elle était valorisée. Même pour les familles brahmanes, l'éducation se transmettait par des enseignants personnels, ou par la famille. N.J raconte : « I come from a very small village in Rajasthan, explique un physicien en poste à l'Institut d'astrophysique de Pune. I was the first generation in my family that has received formal education. My father was taught how to perform rituals in temple, and he received all education from his father and other brahmans. My elder brother was actually the first to go to a formal school, afterwards he pursued in Indian literature. I looked up to him and hence followed him with the decision to pursue education. I did not intend to be a researcher initially. But in secondary school, after reading about science, especially physics, it was exciting to understand how things work. My interest in science grew from that point onwards". La physicienne L.Z, sensiblement du même âge raconte que le métier d'enseignant ou de chercheur était une position respectable dans sa région, le Bengale. "I couldn't have done another kind of job". Elle aimait l'esprit logique dans les sciences, la tentative de tout expliquer ». Dans son milieu, on incitait volontiers à faire des études, même les filles. I.U vient aussi d'un milieu, où dit-il, le savoir était très valorisé. Ses parents et grands-parents, ses oncles étaient enseignants."There where also a lot of interest of studying topics in the religion. And also, I come from a place in Kerala where was born Shankara, the famous philosopher (VIIIth century). So I was attracted towards topics which have a strong part of philosophy. By our generations, that aspects have changed a lot. There is lot of influence of the communism movement in Kerala. I red a lot of book of Soviet Union. It was natural to have an interest in science. Communism always helped in developing an attitude de question things". Dans son discours, le communisme semble avoir orienté l'intérêt intellectuel vers la science, dans une région où il était plutôt tourné initialement vers les études religieuses. La physicienne R.W raconte aussi comment les sciences ont pris le pas sur le sanskrit, avec l'impulsion du gouvernement. Elle raconte l'importance dans sa famille du savoir pur et de l'ouverture d'esprit. Elle est issue d'une famille middle class, avec un grand père avocat mais devenu aveugle, qui n'a donc pas pu financer les études de son père, qui était doué mais qui a du choisir un poste dans le gouvernement. Sa mère a poursuivi ses études et a pu faire un *PhD* en linguistique. En sanskrit notamment, elle parle beaucoup d'autres langues. R.W a fait ses études primaires dans une école de fille, une très ancienne école, où l'on apprend aux filles les « home sciences ». Les sciences n'étaient pas enseignées dans son école. Elle les a apprises seule, avec des amis de la famille. Elle a hésité longtemps entre maths et sanskrit, menant les deux en parallèle. Puis elle a postulé pour une bourse, et cette bourse lui donnait la possibilité de faire de la science. 20 ans après l'indépendance, l'Inde cherchait à produire ses propres savants, explique-t-elle. Donc le gouvernement incitait les jeunes à choisir la science. Une autre physicienne de cette génération dit qu'à son époque,

si on était bon en maths ou en physique, on nous dirigeait vers l'ingénierie ou la recherche car on manquait de scientifiques et d'ingénieurs à cette époque. K.M rappelle que vers les années 30-45, c'était une époque charnière de révolution dans les idées. J.T raconte qu'il voulait être scientifique, dès le plus jeune âge, encouragé par ses parents. « When I was 10 years old, somebody asked me : "what do you want to become?". I said that I wanted to become a scientist. I think my parents encouraged me to go for higher studies then I found some inclination towards science and I tried to do it. My father, who was a judge in a state judicial service, not a scientist but, he was well educated and he was wise. He was, sort of, believed in leftist meaning (referring to left wing politics). He realised that that I was good in mathematics and at that time it was not well seen to become one of the officers in Indian Administrative Service”.

Nous pouvons constater dans ces parcours des plus âgés, comme le milieu social et familial, ouvert et encourageant, a pu impulser des carrières de chercheurs, soutenues par un gouvernement qui cherchait alors à produire plus de scientifiques.

40-60 ans

La tranche des 40-60 ans est un peu moins marquée par l'influence communiste. On y trouve une population plus éclectique. Ainsi Ch. vient d'un village isolé, et il a pu cependant bénéficier d'une bonne éducation publique. « Our school system is good, even from a small village, you can succeed in studies”. R.K. vient d'une famille hindoue du sud de l'Inde, l'Andra Pradesh. Dans son milieu, c'était bien d'être bon en maths et physique, c'était une marque d'intelligence, explique-t-il. La plupart des autres viennent de grandes villes. A.J vient de Bombay, sa mère est économiste, son père ingénieur. Y.N vient aussi de Bombay, et sa famille l'a encouragée à faire les études qui lui plaisaient. K.L vient de Bombay, d'une riche famille brahmane de haute caste, des grands propriétaires mais qui a dilapidé sa fortune en deux générations. C'est une famille plutôt religieuse et conservatrice, mais d'après lui, ils buvaient beaucoup donc n'étaient pas très religieux. Ils n'ont pas beaucoup travaillé, certains étaient avocats, ils avaient une prétention intellectuelle. Lui est venu à la physique pour comprendre la nature, attiré par les lectures philosophiques, il a vu que la science moderne était un lieu de philosophie important, donc a décidé de faire de la physique. On trouve aussi dans cette tranche d'âge beaucoup de bengalis, originaires de Calcutta. C'est le cas de L.X qui raconte que son grand père avait une grande bibliothèque avec des philosophes indiens mais aussi européens, des milliers d'ouvrages. Ses professeurs lui ont conseillé la physique théorique qui était plus à la mode à l'époque à Calcutta que les maths.

K.M aussi vient de cette ville. Son père étant physicien, il connaissait Saha, Ramanujan, Chandrasekar. La physicienne K.X vient d'une famille d'intellectuels, de Calcutta. Issue de la classe moyenne, pas très riche, des parents professeurs : son père professeur d'anglais, sa mère professeur de maths, très douée dans ses études mais qui a arrêté de travailler quand elle a eu des enfants. Ses grands parents étaient médecins, avocats. Dans sa famille et au Bengale en général, le savoir était plus important que le business, dit-elle. Elle a fait ce métier car elle recherchait une position respectable. On trouve dans cette génération aussi l'influence déjà sensible de l'attrait pour les métiers lucratifs, la banque ou l'ingénierie, qui seront si prépondérants pour la tranche d'âge suivante. T.P a été poussé à être ingénieur, comme beaucoup d'autres dit-il, mais il a pu finalement faire de la recherche. J.O était destiné à un gros poste dans une banque à la fin de son master, mais un stage de recherche dans un observatoire l'a fait changer d'avis.

Doctorants, post-doctorants et jeunes chercheurs 25-40 ans

Au sein du système d'éducation ultra-sélectif, on ne peut manquer de juger de l'incidence des origines sociales sur le parcours d'un scientifique. Le jeune post-doctorant U.N vient d'un village dans l'Orissa. Contrairement à son aîné, il juge sévèrement l'enseignement qu'il a reçu

à l'école dans son village. Il estime que les profs ne sont pas bien formés et que la science est trop peu ou trop mal enseignée. Néanmoins cela ne l'a pas empêché de faire de la science. Il estime qu'il a réussi car il témoignait de curiosité. Il pense qu'en Inde, les gens sont trop superstitieux, qu'il n'y a pas assez de science, que les gens ne sont pas assez scientifiques globalement et surtout les politiques. I.P, également post-doctorant vient d'un milieu intellectuel avec beaucoup d'esprit critique, estime-t-il. Son grand-père était très diplômé, mais il a refusé d'être employé par le gouvernement britannique à l'époque et donnait des cours privés. Lui a refusé d'être ingénieur. J.L, doctorant vient d'un milieu intellectuel également, avec par exemple une mère enseignante de philosophie. Mais il a plutôt été incité à bien gagner vie, que de se dédier au savoir. Il estime, comme d'autres l'ont souligné que globalement, au Bengale, il y a une forte valeur accordée au savoir, plus que dans la plupart des autres Etats du pays. Le savoir, dit-il, était l'objectif des brahmanes, avant d'être pervertis par le régime des castes. Avant, tous ceux qui voulaient se dédier au savoir étaient reconnus comme brahmanes. Lui-même est d'origine brahmane. Comme ses deux collègues, il est de famille hindoue, et comme eux, se dit agnostique. U.X a fait ses études à la *Rāmakrishna mission school de Calcutta*, une des nombreuses écoles inspirée par Rāmakrishna, sage et mystique bengali du XIXème siècle de très grande notoriété. Ses parents sont aussi issus d'un milieu éduqué (parents médecins et philosophes). Il a lu les livres de S.Hawking quand il était jeune, dans la bibliothèque de ses parents. Comme nombre des ses collègues, ce qui l'a attiré à la physique c'est la recherche du fonctionnement de l'univers. L.B et L.J.viennent aussi du Bengale et de Calcutta, et confirment que c'est un endroit très académique, où les gens préfèrent le savoir au fait de gagner de l'argent, ils s'orientent davantage vers les sciences que la finance. Par tradition Calcutta est ainsi. Ces jeunes se trouvent différents de leurs amis, qui ont choisi des métiers lucratifs, pour eux, ce qui les a motivés à choisir la recherche est la passion de la connaissance. « Mes amis choisirent l'électronique, l'ingénierie. J'ai choisi la physique alors que je savais qu'il n'y avait pas vraiment d'avenir », dit J.L.

Les scientifiques interrogés constatent une nette différence de comportement parmi la jeune génération de scientifiques indiens. U.X estime qu' « il y a une différence de génération : avant les Indiens avaient besoin de reconnaissance extérieures, c'est la raison pour laquelle ils faisaient leurs études aux Etats-Unis, maintenant c'est moins le cas ». Les aînés sont considérés comme peu sûrs d'eux, se sentant un manque de légitimité. Un autre post-doctorant considère qu'« un scientifique indien qui travaille par exemple à Bangalore ne sent pas totalement faire partie de la communauté mondiale, il se sent un peu en dessous, en retrait. Pourtant les jeunes, comparés aux plus vieux sont plus courageux. Les vieux étaient inquiets. Ils n'osaient pas, dit-il. U.T, physicienne proche de la cinquantaine reconnaît que « les jeunes sont plus fonceurs aujourd'hui » et qu'ils sont moins soumis au manque de confiance caractéristique de leurs aînés. Cette mise en confiance est peut-être liée à l'amélioration de l'enseignement. Lorsque les indiens sont confrontés à une expérience à l'étranger, ils reprennent confiance en leurs compétences. I.P. post-doctorant en poste à Paris trouve qu'avant, en Inde, on respectait l'autorité, on n'osait pas prendre la parole quand on était étudiant ou jeune chercheur. Il a été dans un colloque en Inde récemment et a été surpris de voir les jeunes étudiants ou doctorants poser des questions délicates à un ponte venu des USA qui d'ailleurs n'avait pas bien préparé son speech et qui a été dérouté par les questions. « Les jeunes osent plus et aussi ils sont mieux formés » dit-il.

Cette mise en confiance de la jeune génération se fait en parallèle d'une volonté de revenir travailler en Inde. Quelle est la cause, quelle est la conséquence ? Il n'y peut-être qu'une corrélation non causale. Mais K.M, physicien expatrié trouve qu'à chaque fois qu'il retourne en Inde « ca change à très grande vitesse ». Quand il y faisait ses études, il estime qu'ils étaient assez peu mis en contact avec le monde de la recherche, et que cet aspect change. Un

physicien d'origine indienne installé en France a l'impression que « les jeunes reprennent confiance en eux. Avant, il fallait se soumettre au maître, au père, à l'Anglais. A l'époque de son père, c'était Nehru l'idéal : parler comme un anglais, étudier en Angleterre. Les expatriés ne revenaient pas. Maintenant ils partent travailler un peu ou étudier à l'étranger mais pas longtemps, ensuite ils reviennent ». U.J, théoricien indien en poste à Paris explique : « Quand j'étais étudiant, aller aux Etats-Unis, était ce qu'il fallait faire pour quelqu'un qui avait de l'ambition et qui voulait une vie confortable. L'Inde, la Chine, sont des pays qui vont dominer la scène scientifique des prochaines années. J'ai été invité à Stanford récemment. Avant j'y étais doctorant. J'ai trouvé que dans la *Silicon Valley* les jeunes Indiens n'y trouvent plus une destination privilégiée. Les gens m'ont dit à Stanford qu'à mon époque, peut-être 80% de mes collègues indiens partaient aux Etats-Unis, maintenant ils ne sont que 20%. Il y a beaucoup d'opportunité en Inde, on peut avoir un même salaire dans une entreprise en Inde, pour les ingénieurs, dans entreprises internationales. A mon époque, un scientifique ambitieux devait passer par les USA. Maintenant en Inde, on n'a plus nécessairement besoin de faire ses preuves à l'étranger ».

Peut-on adjoindre des faits à ces ressentis ? Lorsque l'on regarde les statistiques, on n'observe pas vraiment de décroissance dans le nombre d'étudiants qui partent étudier aux Etats-Unis. Ainsi, d'après le NISTADS, CSIR. 2008. "India Science & Technology 2008." Human resources, p.22, le pourcentage des étudiants indiens qui viennent aux USA continue de croître progressivement (cf.tableau 1). Par contre, on remarque que le nombre d'étudiants américains venant étudier en Inde augmente. Mais ceci est également vrai pour la Chine. Cependant nous n'avons pas trouvé de chiffres très récent, donc il se peut que le ressenti exposé ici se retrouve dans des chiffres plus récents.

| Year | China | | | India | | |
|---------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | No. of students | % of foreign students in US | Number of US students to China | No. of students | % of foreign students in US | Number of US students to India |
| 1994/95 | 39,403 | 8.7 | 1,257 | 33,537 | 7.4 | 409 |
| 1995/96 | 39,613 | 8.7 | 1,396 | 31,743 | 7.0 | 470 |
| 1996/97 | 42,503 | 7.8 | 1,627 | 30,641 | 6.7 | 601 |
| 1997/98 | 46,958 | 9.8 | 2,116 | 33,818 | 7.0 | 684 |
| 1998/99 | 51,001 | 10.4 | 2,278 | 37,482 | 7.6 | 707 |
| 1999/00 | 54,466 | 10.6 | 2,949 | 42,337 | 8.2 | 811 |
| 2000/01 | 59,939 | 10.9 | 2,942 | 54,664 | 9.9 | 750 |
| 2001/02 | 63,211 | 10.8 | 3,911 | 66,836 | 11.5 | 627 |
| 2002/03 | 64,757 | 11.0 | 2,493 | 74,603 | 12.7 | 692 |
| 2003/04 | 61,765 | 10.8 | 4,737 | 79,736 | 13.9 | 1,157 |
| 2004/05 | 62,523 | 11.1 | n/a | 80,466 | 14.2 | n/a |

Source: <http://openskools.sienetwork.org/>

Tableau 7: Flow of students from China and India to USA and vice-versa. Kumar, Naresh, International flow of students – An analysis related to China and India, Current Science, Vol. 94, No. 1, PP. 34-37, 2008

Concernant les chercheurs indiens expatriés, il est vrai que le gouvernement a mis en place des mesures afin de les inciter à revenir en Inde (Priyadarshini 2011). L.K, jeune physicienne indienne venue en post-doctorat en France explique une de ces mesures. « A few years ago they reviewed the salaries of students and postdoc. They started with a quite good amount of money which put same at the reasonably good state economically compared with software engineers ». Néanmoins, des blogs de doctorants et post-doctorants indiens en Inde⁷⁹, se plaignent de leur bas salaire, donc ces mesures ne semblent pas s'être généralisées. » En Inde, un diplôme d'ingénieur (degree in engineering) vaut tellement plus sur le marché de l'emploi

79 Tels que sur <http://www.natureasia.com/en/nindia/>

par rapport à un diplôme de physique », explique Arnab Bhattacharya , un diplômé d'un IIT et maintenant basé à l'Institut Tata de recherche fondamentale à Mumbai . ” “A difference between industry and research salaries is a factor of 2 to 2.5 times higher.⁸⁰ Les salaires des post-doctorants et des chercheurs restent faibles et incitent toujours nombre de chercheurs à trouver un poste à l'étranger ou dans le secteur privé de l'industrie, même si la tendance s'inverse. Nous remarquons donc que les jeunes générations ont une plus grande confiance en eux que leurs aînés, ce qui pourrait considérablement changer la place des Indiens dans la recherche internationale dans les années à venir. En effet, c'était l'aspect le plus caractéristique des chercheurs Indiens, le manque de confiance en soi.

L'argent est incontestablement un élément important pour une majorité de jeunes indiens. Beaucoup plus que pour leurs aînés. Cela s'étend aussi aux jeunes chercheurs. U.J constate qu'« aujourd'hui, pour les jeunes chercheurs, il y a volonté de faire de l'argent ». K.M raconte que, dans sa famille, on lui a dit qu'il devrait gagner plus d'argent s'il était intelligent. Il y a tellement de jeunes en Inde que le but de chaque famille est de faire partie des quelques milliers qui mettront leur enfant dans un centre d'ingénierie, un IIT. Ou alors faire médecine, c'est ce que lui disait son grand-père. Rare sont ceux qui trouvent le temps ou les moyens de faire de la science par passion ». Les gens qui font de la physique sont vraiment passionnés par ce sujet parce qu'ils ont eu beaucoup de pression dans leur famille pour ne pas faire de la recherche en science. U.T, physicienne au CERN, explique : « Il y a beaucoup de compétition en Inde, dans le monde universitaire. Les gens ne choisissent pas leur métier par goût. Ils choisissent en fonction de leur besoin de faire de l'argent. Leur but est d'avoir un statut social, grâce à l'argent ». En effet le statut social des chercheurs est bas en Inde car il est peu lucratif. Il donne peu de pouvoirs et de responsabilités sociales. Donc, le choix d'être chercheur repose sur un goût marqué. Plus qu'en France où beaucoup sont arrivés dans ce métier parce qu'ils étaient bons élèves et où le statut financier est un peu moins important. En Inde, les meilleurs élèves se retrouvent dans l'ingénierie, l'industrie ou le commerce. C'est donc une ambivalence de cette jeune génération de chercheurs indiens, une motivation pour le métier de chercheur si forte qu'elle dépasse le souci financier et en même temps une revendication pour élever le salaire des chercheurs. Le physicien L.X juge les jeunes plus individualistes : « ils veulent avoir leur équipe de recherche avec leurs étudiants. Il y a une perte du travail collectif, une mise en avant des égos. Et puis, ils davantage attirés par argent. Or le métier de chercheur moins lucratif qu'ingénieur. Depuis l'ouverture de l'Inde au libéralisme économique en 91, la société est devenue beaucoup plus consumériste. La qualité des étudiants diminue car il y a beaucoup de nouveaux IIT et un manque de bons profs. En plus les meilleurs étudiants choisissent des carrières lucratives. La motivation pour la recherche diminue. Il y a 200 doctorants en physique par an sur un milliard d'habitants ! Cependant, il y a beaucoup d'argent en Inde pour physique fondamentale, sans doute plus qu'en France ». Les différents aspects sont réunis dans ce discours.

Conclusion sur l'évolution de la jeune génération de physiciens indiens

Nous pouvons donc observer dans ces différents parcours de physiciens en Inde, l'évolution d'une profession, à l'origine occupée principalement par des classes cultivées, des hautes castes et/ou des milieux de gauche, issues des villes, et en particulier du Bengale et de Calcutta, voire de l'Inde du sud, qui petit à petit attire des gens des grandes villes, de milieux sociaux et régionaux variés, même si le monopole de Calcutta et des classes cultivées perdure. On voit aussi le rôle de l'état, qui à une époque communiste a orienté certaines carrières. Ce

⁸⁰ Salary range Rs 35,000 40, 000 p. m and institute provided housing (or a house rental allowance of 30% of the stipend). Scientific Officer C (Scientific Computation): 5 ans d'expérience, phd, moyenne 600 000 roupies/an environ 8500 euros par an.

qui caractérise les dernières années est l'attraction vers les carrières d'ingénieurs, de télécoms et de finance, qui réserve la recherche à des passionnés.

On trouve également donc une ambivalence dans la jeune génération de chercheurs indiens, une motivation pour le métier de chercheur si forte qu'elle dépasse le souci financier et en même temps une revendication pour élever le salaire des chercheurs. Elle se juge elle-même plus individualiste que les aînés, plus ambitieuse aussi, notamment sur les questions financières. Elle semble aussi avoir davantage confiance en elle. Enfin, on remarque un constat encore peu perceptible dans les chiffres d'une attraction du pays pour les chercheurs expatriés ou étrangers.

Annexe 12. Perception de la science et de la tradition par les physiciens interrogés

Durant les entretiens, nous avons interrogé les physiciens, sur les physiciens Indiens, sur leur idée du lien entre science et traditions. Nous n'avons pas exploité ces éléments dans le corps de la thèse, car ils ne rentraient pas dans notre problématique principale. Ils nous intéressent cependant dans une problématique plus large sur la rencontre entre science et traditions, que nous pourrions exploiter dans un cadre ultérieur.

Nous allons ici analyser comment les physiciens interrogés se positionnent vis-à-vis de certains modes de connaissances traditionnels. Pour cela nous revenons à une analyse des entretiens et à la comparaison entre physiciens indiens et français.

- Nous commençons par analyser leur démarcation de la science par rapport aux autres formes de savoir (nous leur avons demandé les critères de la scientificité).
- Nous cherchons ensuite à évaluer leur conception de la logique, en particulier le statut des logiques dialogiques.
- Ensuite, nous étudions le rapport aux mathématiques, notamment pour savoir si elles sont perçues comme un outil ou bien une réalité transcendante.
- Nous interrogeons leur conception du statut de l'astrologie, et le fait qu'elle soit enseignée dans certaines universités, ce qui permet de mieux délimiter les contours de leur conception de la science.
- Nous traitons ensuite du statut des « sciences védiques », qui sont des « découvertes » de la science moderne dans les textes anciens.
- Le statut de la conscience, dans son lien avec la matière.
- Le rapport entre science et religion. Cette question se révèle fort instructive, on le verra car les différences Indiens et Français sont étonnantes.
- L'existence d'un ordre dans la nature.
- Et enfin, leur avis sur le fait de maîtriser la nature ou s'y adapter. Cette question est à reliée avec la croyance qu'il existe un ordre dans la nature, qui nous le verrons, est une caractéristique forte des physiciens indiens.

Avant de plonger dans l'analyse, rappelons le profil des physiciens rencontrés. Comme nous décrit, les chercheurs indiens rencontrés sont majoritairement issus de familles de castes supérieures ou d'intellectuels avec souvent des professions d'enseignants ou de médecins. Les physiciens issus de castes non brahmanes sont peu nombreux et ceux qui viennent d'univers artisans ou ouvriers sont très rares. C'est moins le cas des physiciens français, qui sont assez peu souvent issus de familles de scientifiques. On trouve plus souvent, parmi le profil de chercheurs français interrogés, des environnements familiaux complètement étrangers à la recherche scientifique ou aux domaines intellectuels. Nous avons proposé une explication de cette différence par ailleurs. Concernant leurs tendances religieuses, la grande majorité des physiciens indiens interrogés sont hindous, quelques uns sont sikhs. Aucun musulman, chrétien, bouddhiste, juif ou haté parmi ceux interrogés. Nous ne connaissons pas leur degré de croyance ou de pratique religieuse. Nous avons perçus à travers les entretiens qu'il y avait de grands écarts dans leur conviction religieuse. En tous cas, il y a une pratique qui est largement partagée, de fréquenter les temples. Un jeune physicien indien U.N raconte que parmi ses amis physiciens, beaucoup vont au temple, presque tous, un certain nombre pratique les *pujas* (prières, rituels) mais peu vivent une spiritualité de l'intérieur.

Le statut particulier de la logique et du tiers exclus ?

Question sur la dualité et le tiers exclus

Aristote (384-322 av. I.C.) a posé les bases d'une logique⁸¹ sur laquelle s'est construit l'édifice scientifique. Pour rappel, cette logique s'appuie sur :

- le principe de non-contradiction. « A et non A ne sont pas vrais ensemble »
- Principe d'identité. : A est différent de non A
- Principe du tiers exclu. Soit A soit non A.

Dans cette conception du réel, un chat par exemple ne peut pas être mort et vivant en même temps, Cette logique rigide repose sur un dualisme. De deux propositions contradictoires (au moins en apparence) une seule est vraie et l'autre fausse ; autrement dit, un fait ne peut pas être vrai et faux en même temps. Par exemple, le principe du tiers exclu conduit la physique classique à distinguer radicalement les phénomènes particuliers et les phénomènes ondulatoires. Certaines formes de logique modernes, sous l'influence entre autres, des phénomènes révélés par la physique quantique, ont abandonné le principe du tiers exclu. Nous avons vu ailleurs la présentation du paradoxe du chat de Schrödinger, et la question des états superposés. On distingue ainsi la logique formelle dite classique de la logique intuitive (Caratini 2000)p. 462. Comme nous l'avons vu, la logique classique indienne développée à l'antiquité, dans ses différentes formes – Catuskoṭi, Nyāya, etc.- n'est pas fondée sur le tiers exclu, comme le fait la logique aristotélicienne. Il m'a donc semblé intéressant de savoir si cet héritage pouvait avoir une influence actuelle sur les modes de pensée logiques des physiciens indiens et français actuels. Les Indiens seraient-ils plus aptes à penser le monde de manière non duelle ? Et donc, plus ouverts à la pluralité des états en mécanique quantique par exemple ? Ou la dualité onde/corpuscule ?

Question posée et répartition des réponses

Afin de comprendre les formes de logiques actuelles des physiciens indiens et français, nous leur avons demandé :

Pour vous, en science, un fait peut-il être vrai et faux simultanément ?

Cette question devait permettre d'estimer l'ouverture des physiciens envers l'aspect duel et indéfini des phénomènes. Sont-ils attachés à l'identité des objets ou bien peuvent-ils accepter des états intermédiaires, une logique non duelle ?

| Vrai et faux en Français Indiens même temps ? | | |
|---|-----|-----|
| Oui, dualité | 58% | 58% |
| Non, exclusion | 42% | 42% |

Tableau 8 : Face à la question « un fait, en science, peut-il être vrai et faux en même temps », ceux qui acceptent la dualité et ceux qui se rangent du côté du tiers exclu sont dans une répartition similaire entre physiciens indiens et français.

L'acceptation de la dualité, on le voit, est partagée, parmi nos physiciens indiens et français. Si donc, certains indiens ont pu être influencés, de par leur culture ou l'enseignement reçu,

81 Notons que la logique d'Aristote n'était pas celle défendue par tous les penseurs grecs, Platon par exemple défend une logique bien plus proche de celle que l'on retrouve en Inde à la même époque. Le Théétète (183 a-b), exprime par la bouche de Socrate, les quatre principes logiques découlant de « l'universelle mobilité » :

« Il en est ainsi. A
 Il n'en est pas ainsi. Non A
 Ainsi et pas ainsi. A et non A
 Non pas même ainsi », ni A ni non A

Aristote s'insurge contre l'usage qu'en fait Platon. On ne peut discuter, dit Aristote, avec celui qui applique ces principes, car il ne soutient aucune thèse définie.

par une ouverture aux logiques non duelles, c'est loin d'être la majorité et nous ne pouvons qu'observer, dans la répartition des réponses, que la dualité n'est pas unanime parmi eux. Il est d'ailleurs notable de trouver une telle similarité dans la répartition des réponses des deux groupes. On aurait pu s'attendre à obtenir une répartition similaire entre cette question « dualité » et la question « microphysique », puisque la nature discrète et continue de la matière est une forme de dualité. Selon les expériences réalisées, les phénomènes se manifesteront tantôt sous une forme particulière, tantôt ondulatoire. Pourtant, la répartition n'est pas similaire : les proportions de réponses ne sont pas les mêmes et ceux qui acceptent la dualité onde/corpuscule n'acceptent pas forcément la dualité des états et inversement. On peut donc supposer que ces différentes dualités ne renvoient pas aux mêmes enjeux. La physicienne R.W estime, par exemple, que la matière est « waves and particules, discrete and continuous » mais ne pense pas qu'un fait puisse être vrai et faux en même temps, car la vérité selon elle, se situe dans le monde macroscopique, qui lui n'est pas ambigu. Donc l'ambiguïté, la non définition des états appartient pour elle au monde microscopique, pas au monde quotidien. Comment donc, nos physiciens ont-ils perçu cette question sur la dualité du réel ? C'est ce que nous allons analyser.

Analyse du discours des physiciens français

La vérité dépend du contexte et de l'observateur

Beaucoup de physiciens estiment que la vérité est une question de contexte, de point de vue. L.P explique « On peut imaginer quelque chose qui soit vrai d'un certain point de vue et pas d'un autre ». « Ca dépend du contexte, du langage que l'on utilise. Par exemple, on peut trouver des descriptions vraies dans un contexte, fausses dans un autre. Cela provient de la différence de langage, un langage est utilisé dans tel contexte, pas dans l'absolu » estime U.Y. Un autre physicien, P.Z, cite l'exemple du théorème de Pythagore, qui est vrai dans un espace plat dit-il, pas sur un espace courbe. « Tu ne sais jamais s'il n'existe pas un cadre dans lequel tu n'as pas pensé ta proposition ». Les différents contextes sont surtout celui du monde micro et celui du monde macro. « Les lois de Newton sont vraies à 10^{-10} m pas à 10^{-11} ! » dit X.I. C'est aussi l'exemple que prend Y.Z qui dit que la mécanique classique par exemple, est vrai à l'échelle des faibles énergies, des faibles vitesses, pas à haute énergie. Le point de vue de l'observateur crée aussi différents contextes, estime-t-il. U.Z pense que la vérité est souvent relative à un point de vue. H.I qu'elle dépend de l'angle d'observation, epar exemple si on observe en infra-rouge ou en ultra-violet une galaxie, elle peut être finie ou infinie ». Pour E.T aussi, « la vérité est question de subjectivité » tout comme pour N.I, pour qui « la vérité est relative à telle ou telle manière de voir ».

Relativement à la superposition des états en mécanique quantique

Est-ce qu'un chat peut être mort et vivant en même temps ? Nous avons vu une question quand nous évoquions la superposition des états en mécanique quantique. Certains physiciens tels que F.C. ou P.L. abordent la question de la dualité en référence au chat de Schrödinger. J.M.R. rappelle que si on pose la question : « une casserole d'eau peut-elle geler dans le désert chaud, quelqu'un qui dirait « oui » n'aurait pas totalement tord. Einstein disait qu'une casserole d'eau dans le désert chaud avait une probabilité non nulle de geler, en faisant référence à la mécanique quantique ». Ils sont assez peu nombreux à se référer la logique non duelle soulevée par la théorie quantique. Cela montre que ce n'est pas l'aspect qui les choque le plus dans la théorie.

Qu'est-ce qu'un fait ?

Pour beaucoup de physiciens, cette question porte surtout sur la notion de « fait ». Beaucoup ont donc réagi sur le lien entre vérité et fait. Pour X.P, « un fait est ce qui se rapproche le plus

de la vérité ». Pour X.U, « les faits sont transitoires en science, ils paraissent vrais mais sont surtout féconds. Ce qui est vrai en science est ce qui rend compte des phénomènes ». Il relativise donc la notion de vérité. J.J demande « Est-ce que la vérité absolue existe ? ». Notons que le langage courant se prête mal à la logique du vrai et du faux. L'épistémologue et logicien Henri Lombardi l'explique bien (Lombardi 1983) « Lorsqu'on dit par exemple : "ceci est une grosse pomme" la limite entre Vrai et Faux est entourée d'une zone de flou importante. Tout d'abord concernant la partie "ceci est une pomme" (s'il manque la queue ? si elle est coupée en 2, si on a enlevé les pépins, etc...) et aussi concernant l'affirmation que la pomme est "grosse". E.I estime que la vérité est une question de probabilité, quand un fait est probable à 10^{-40} , il est vrai. Pour ce physicien, « il y a la vérité absolue et la vérité humaine. Si une expérience donne un résultat à 10^{-40} , alors elle sera vraie ». Pour L.I, « un fait peut être vrai ou faux dans sa limite de validité ». La vérité est donc une question de « limite de validité ». Et pour W.W, « la vérité n'est que factuelle. Un fait est vrai par définition, donc il ne peut pas être vrai et faux en même temps. La vérité est ce qui explique les mesures. » Nous avons donc un ensemble intéressant de points de vue sur la notion de fait et de vérité. La dualité est donc logiquement possible, tout est question de définition qu'on donne à la vérité et à la notion de fait.

Analyse du discours des physiciens indiens

Avec les physiciens indiens, on trouve le même type d'arguments que ceux des physiciens français sauf concernant les autres formes de logique et de représentation, auxquels seuls les physiciens indiens ont fait référence.

La vérité dépend du contexte et du langage qu'on utilise, du point de vue de l'observateur.

Beaucoup de physiciens indiens sont aussi d'avis que la vérité est affaire de point de vue ! N.J estime que la mesure est un acte mental : « If you come down to your method of measurement. Truth is always ambiguous: not definitive ». Pour C.U, le vrai et le faux sont des croyances ! Et pour N.J la mesure est un processus mental. R.K estime qu'on ne peut affirmer les choses de manière définitive, le savoir se construit et dépend du contexte de connaissance, d'observation, etc.

Relativement à la superposition des états en mécanique quantique

La logique non duelle de la mécanique quantique est évoquée par L.K, Y.N et W.M qui parlent de la superposition des états avant la mesure. « In quantum mechanics, before measurement, it can be true or false, that is the measurement that creates distinction ». W.M insiste néanmoins pour dire que cette dualité ou cette pluralité n'existe qu'au niveau macro, ce qui lui permet d'affirmer : « science is still predictive ». Il accepte de penser une logique duelle, mais sans remise en cause de la science.

Débat sur la notion de fait et de vérité.

Parmi ceux qui rejettent la dualité, on retrouve le débat sur la vérité en science évoqué par les Français. Pour J.T, le vrai et le faux sont par définition exclusifs. La science est une recherche de vérité, même si cette vérité peut évoluer. Pour K.P, la science parle de vérité, et si on se trompe, on doit corriger.

Autres formes de logique et de représentation

On trouve un argument absent du discours des Français, sur la complexité et les autres formes de logique. L.X dit qu'il n'est pas choqué par la dualité logique. Il évoque la théorie des ensembles. En effet, les ensembles infinis dans les mathématiques apportent une grande confusion au sujet de la notion de vrai et de faux (Lombardi 1983). L.L aussi se réfère aux

différents systèmes logiques basés sur la dualité. U.X évoque quant à lui les géométries et les algèbres complexes, qui ont remis en cause l'espace tridimensionnel et la dualité logique. Cet argument basé sur l'existence de logiques non duelles n'a pas été évoqué par les physiciens français. Pas plus que la complexité. Pour T.L, "All models have limitations. Some are better than others, some are more true in capturing physical realities. But they are all "false" because in actuality, nature is more complex". L.T estime que la dualité est très présente en Inde, le proverbe « White lies small lies » rappelle que la manière de s'exprimer est rarement tranchée. Il y a un *entre-deux* permanents comme dans ce mouvement de tête entre le oui et le non, qui dit « je viendrai peut-être et peut-être que je ne viendrai pas ». C'est une variation de la vérité plus qu'une vérité absolue. La physicienne L.Z parle de "Not absolute truth ». On constate donc une spécificité indienne dans cette question de la dualité logique, qui se démarque par une évocation des logiques complexes.

Principaux Résultats

- Il apparaît que l'ouverture à la dualité est à relier à la place accordée à la contextualité et à la subjectivité.
- Avant de parler de dualité, il faut s'étendre sur les notions de vérité et de faits.
- Les physiciens indiens font davantage références à la pluralité des formes de logique.
- Influence faible des anciennes logiques indiennes sur les physiciens indiens actuels
- Influence probable de la culture de l'hétérodoxie sur les physiciens indiens : la manière de s'exprimer est rarement univoque.

Astrologie

Nous allons à présent nous intéresser à une discipline qui possède une place ambiguë, entre science et croyance. Interroger les physiciens sur leur rapport à l'astrologie nous permet de mieux comprendre leur attitude vis-à-vis des traditions, et mieux saisir les critères de la science. Ce sujet est d'autant plus pertinent que l'astrologie – la *Jyotish* – est déjà enseignée dans certaines universités indiennes, par exemple le Government Inter College, Kalraon dans la région d'Almora, ou l'Himalayan Institute Of Education & Technology (HIET) dans la région de Ranikhet. Une quinzaine d'instituts publics en proposent en 2014-2015. L'astrologie est une pratique très développée en Inde. Le psychologue S.Kakar explique que la prégnance du spirituel, la conviction inébranlable qu'il existe une réalité « supérieure » ont pour conséquence la fascination et le respect qu'éprouve l'Indien moyen pour le surnaturel et ses spécialistes (astrologues, voyants, devins, etc) » (Kakar, 2007, p12). Pourtant, c'est surtout l'Indien cultivé davantage que l'Indien moyen qui y a recours. L'anthropologue Caterina Guenzi, qui a étudié l'astrologie dans l'Inde contemporaine écrit dans *Le discours du destin* (Guenzi 2013): « A Bénarès, comme ailleurs en Inde, les plus voraces consommateurs d'horoscope sont les familles de fonctionnaires, d'hommes d'affaire, de politiciens, de célébrités (acteurs de Bollywood, joueurs de cricket, etc), d'universitaires, d'ingénieurs, de docteurs, d'avocats ou d'informaticiens. L'astrologie est particulièrement appréciée dans ces milieux aisés, non seulement parce qu'elle fournit un support dans le processus de *decision making*, carrière, voyages, investissements financiers, repérage de partenaires matrimoniaux, choix des écoles pour les enfants, etc. qui marque le quotidien de ces familles, mais aussi parce qu'elle est regardée comme un savoir, plus que la religion, présente des affinités avec le langage de la « science » et se greffe bien sur les innovations technologiques et informatiques que l'on associe au « progrès » dans l'Inde d'aujourd'hui. Parce que les horoscopes se basent sur des calculs mathématiques, qu'ils peuvent être élaborés par ordinateurs et que l'astrologie est diffusée en Inde comme aux Etats-Unis ou en Australie ainsi que sur internet » (p22).

L'astrologie est «regardée comme un savoir novateur, global et cosmopolite, qui serait emblématique de la modernité » (p23). L'un de nos physiciens, K.L, trouve qu'en Inde, l'astrologie est considérée comme rationnelle. C.Guenzi confirme : « Elle est en effet regardée comme une discipline qui permet de concilier rationalisme scientifique et dévotion religieuse, observation empirique du naturel et apaisement des puissances surnaturelles, innovation technologique et célébration des rituels anciens, gestion pragmatique des problèmes quotidiens et conformité à un ordre cosmique transcendant »(p24). L'écrivain Ramanujan évoque le cas de son père, qui était astronome, mathématicien et également astrologue et qui s'accommodait parfaitement de ce double statut : «He had two kinds of exotic visitors: American and English mathematicians who called on him when they were on a visit to India, and local astrologers, orthodox pundits who wore splendid gold-embroidered shawls dowered by the Maharajah. I had just been converted by Russell to the "scientific attitude". I (and my generation) was troubled by his holding together in one brain both astronomy and astrology; I looked for consistency in him, a consistency he didn't seem to care about, or even think about. When I asked him what the discovery of Pluto and Neptune did to his archaic nine-planet astrology, he said, "You make the necessary corrections, that's all"»(1989 p43). Caterina Guenzi, écrit aussi que « dans la tradition brahmanique, aucune rupture épistémologique n'a été établie, au cours des siècles, entre « astronomie » (*grāṇita*) et « astrologie » (*jyotiśa, horā*), entre théorie scientifique d'une part et spéculation divinatoire et prédictive de l'autre. Ces deux approches de l'étude des astres sont considérées, même aujourd'hui, comme deux branches d'un même savoir, le *jyotiśa*, la science qui étudie les « lumières célestes » (*Jyotiś*) et qui inclut également d'autres types de divination comme l'interprétation des présages (*samhitā*) ».

Dans son ouvrage *Cogitamus* (Latour 2010), l'anthropologue des sciences, Bruno Latour nous invite à une réflexion sur l'ambivalence entre astrologie et rationalité. Il prend l'exemple d'une page du journal de Galilée, datant du 19 janvier 1610, où se voit un dessin des cratères de la lune en haut et, en bas, un horoscope destiné à son riche protecteur. La plupart des traités d'histoire des sciences, explique-t-il, publient seulement la partie du haut et oublient l'horoscope. Ce qui donne l'impression que Galilée génial découvre l'astronomie hors contexte, comme les légumes hors sol. « La deuxième solution, explique Latour, consiste à publier toute la page en disant que Galilée possède une « âme divisée entre deux mondes » : la « modernité » à laquelle il introduit son dessin de la Lune et « des restes d'attachement à un passé mythique et archaïque » » (p114). A en croire ce récit, s'il n'était pas enchaîné par ce reste d'archaïsme, il serait complètement moderne et n'aurait dessiné que des cratères, pas des horoscopes. « Avec une telle interprétation de la transition vers la modernité, poursuit Latour, on fait de Galilée non pas comme nous tous, une personnalité multiple dans un monde multiple, mais plutôt un schizophrène dans un monde coupé en deux. Le grand épistémologue français Gaston Bachelard, a théorisé ce dualisme jusqu'à l'extrême, faisant de cette schizophrénie, la définition même du savant en quête de son « esprit scientifique ». Le savant serait, d'après lui, celui qui se bat contre lui-même, qui s'extrait toujours du passé obscur qui risquerait de le dévorer. Il nous a donc semblé intéressant de savoir si les physiciens indiens se « battent contre eux-mêmes », cherchant à s'extraire de leur tradition. Certes la situation de l'astrologie de l'Inde n'est certainement pas la même qu'en Europe au temps de Galilée, ni d'ailleurs aujourd'hui en Europe. Mais le lien de l'astrologie avec la science reste un enjeu, puisqu'elle utilise certains objets (calculs mathématiques, emplacement des planètes, etc.) qui sont ceux des sciences, et que le débat sur sa scientificité n'est pas clos. Si les physiciens la conçoivent comme « une science au milieu des autres » - ce que nous allons questionner - ils doivent alors être d'accord avec le fait d'enseigner l'astrologie à l'université. Nous avons

donc demandé à nos deux groupes de physiciens s'ils considéraient l'astrologie comme une science, et si elle devait être enseignée à l'université.

| L'astrologie, une science? | Physiciens français | Physiciens indiens |
|----------------------------|---------------------|--------------------|
| Oui | 19% | 9% |
| Non | 71% | 91% |
| Les deux | 10% | 0% |

Tableau 9 : réponses classées en pourcentage à la question « considérez vous l'astrologie comme une science ? ». Nous remarquons que les Indiens sont encore plus frileux que les Français à considérer l'astrologie comme une science.

Nous observons que les physiciens s'opposent à considérer l'astrologie comme une science au milieu des autres, les Indiens plus encore que les Français. Ils sont une petite minorité à estimer que l'astrologie doit être considérée comme scientifique et enseignée à l'université. Par exemple un étudiant de master en est convaincu car son grand-père, dit-il, est considéré comme un excellent astrologue, qui a étudié 20 ans à Kashi et maintenant « peut prévoir l'avenir simplement en touchant quelqu'un du bout du doigt ». Une physicienne en physique nucléaire suggère que l'astrologie soit enseignée comme extra-activité ("taught as an extra-activity») (Y.N).

La majorité estime que l'astrologie n'est pas une science. Comment expliquer que les physiciens indiens soient aussi peu attachés à revendiquer la validité de l'astrologie, alors qu'elle est tant présente dans leur pays, bien plus qu'en France ? Deux raisons possibles.

- La première pourrait être que, lors des entretiens, ils répondent en fonction du fait qu'ils sont enquêtés par une chercheuse d'origine européenne, sur leur rapport à la science et les spécificités culturelles. Cela a de quoi inciter à décrier l'astrologie comme science.
- La seconde pourrait être que, leur manière d'affirmer leur place dans une science universelle et internationale passe par la mise de côté des aspects culturels ou traditionnels. Les scientifiques indiens seraient d'encore plus grands défenseurs des valeurs scientifiques.

La physicienne L.Z s'exprime ainsi : "Some people try to teach it in some university, it is a bad idea. It supposes to predict future but I couldn't find any scientific basis in this". La physicienne RW estime que la science est ce qui peut être vérifié par l'expérience, donc l'astrologie n'est pas une science. Nous avons vu plus haut, qu'effectivement, un des critères les plus importants de la science est qu'elle soit prédictible c'est-à-dire qu'on puisse prédire et vérifier. Trois doctorants (J.L, L.W et R.I) en physique des particules aboutissent au constat que la science est ce qui est expérimental et reproductible dans les mêmes conditions, avec les mêmes mesures, or en astrologie, estiment-ils, il n'y a que des cas différents. J.T quant à lui estime qu'on peut enseigner des techniques traditionnelles à l'université, à condition qu'elles les rendent meilleurs et qu'elles soient valides. Là aussi, ces critères nous renseignent sur la démarcation entre science et savoirs.

Différence entre discours et pratiques

Les physiciens indiens disent en majorité ne pas pratiquer l'astrologie, ou bien simplement la regarder par amusement. K.P par exemple dit: " I don't believe in it, I just look at it by amusement ». Cependant, lorsqu'on approfondit ou qu'on les regarde dans leur quotidien, on se rend vite compte que l'astrologie est en général bien plus présente dans leur vie qu'ils ne l'avouent. Ainsi, K.X dit ne pas considérer l'astrologie comme une science, mais elle dit aussi qu'elle a vu l'astrologie prédire des choses très surprenantes : « I saw very surprising things ». Par exemple, elle lit régulièrement son horoscope et celui-ci lui a prédit des choses qui se sont

finalement passées : un voyage qui serait annulé dans la journée par exemple. Un jour un *sâdhu* (moine errant) a prédit à son père qu'il irait à l'étranger alors qu'à l'époque c'était quelque chose de très exceptionnel. Dans la pièce il y avait une dizaine d'hommes, seul son père est allé à l'étranger. Il lui a dit également qu'il épouserait une femme avec S ou P dans ses initiales, or sa mère a pour prénoms S et P, etc⁸². Pour autant elle ne pense pas qu'il faille intégrer l'astrologie dans les sciences universitaires, mais elle reconnaît que ça l'intéresse quand même. « It's not that everybody should go around consulting and things like that, but I do find it interesting. It is not scientific knowledge, but over the years I have come to think about it, that there is something in it. It can predict some of the things, it has some predictable power, I do not know. I don't think in my life itself, there are some situations, some incidents where I am really amazed that how things can happen that way". R.K également ne pense pas qu'il faille enseigner l'astrologie à l'université, mais il s'amuse aussi à regarder les horoscopes et vérifier si ça marche. Le post-doctorant U.N. raconte que, parmi ses amis physiciens, certains croient en l'astrologie, ce n'est pas la majorité, même s'ils parlent peu de cela. Cette juxtaposition d'approches rejoint ce que nous avons constaté sur l'hétérodoxie. Il y a d'un côté la science, et de l'autre ce qui n'est pas la science, mais l'un n'empêche pas l'autre et les deux approches cohabitent.

L'astrologie en Inde ne reçoit pas le même accueil selon les régions. Elle est très populaire à Bénarès, où, d'après C.Guenzi, on trouve par contre de nombreux exemples de physiciens, de géophysiciens, ingénieurs reconvertis en astrologues. Elle est beaucoup moins populaire à Calcutta, ville qui, on l'a vu, se positionne dans une histoire intellectuelle où les traditions semblent moins fortes et d'où viennent la majorité des physiciens que nous avons interrogés. Ainsi, I.P, qui est originaire de Calcutta pense beaucoup de mal de l'astrologie. A Calcutta, dit-il, ce n'est pas à la mode. Peut-être que si nos physiciens ne venaient pas autant de Calcutta, ils auraient répondu davantage en faveur de l'astrologie. Mais nous avons vu que ce n'est pas un hasard si nos physiciens viennent en majorité du Bengale et de Calcutta. C'est aussi parce que l'esprit critique y est plus développé. Et donc, cela semble confirmer notre deuxième hypothèse : les physiciens indiens ont un esprit critique particulièrement développé.

Dans le tableau 9, nous constatons que les physiciens français se montrent opposés à considérer l'astrologie comme une science mais en proportion moindre que leurs collègues indiens, ce qui est étonnant car, en France, l'astrologie n'est pas enseignée à l'Université, elle n'est pas reconnue par les institutions scientifiques, alors que nous avons vu que le sujet faisait débat en Inde. On aurait donc pu s'attendre à des proportions inverses. Quand on sait que près d'un tiers des Français considèrent l'astrologie comme une science⁸³, finalement les physiciens se montrent bien plus critiques que la moyenne des Français. Je n'ai pas de chiffre équivalent pour l'Inde, n'ayant trouvé aucune enquête de ce type menée dans le pays. Les réponses des physiciens indiens sont sans doute motivées par le fait que, de par leur parcours et origine sociale, ils affichent un esprit particulièrement critique. Les réponses des physiciens français révèlent leurs critères de démarcation de la science. Ainsi, pour H.I l'astrologie n'est

⁸² “But I have seen that some people have disability to credit things that sometimes are correct. And my father was...he used to blame all these things, but normal, in his 20s or something and it was a joint family in this ancestral house. Somebody came to town and the other generation in our family was very fond of these things. So this man came to our house, and my grandmother asked my father to come down and meet him. Seeing my father, the man said “He will go abroad”. And it happened, that finally, he went to England. There were about 10-12 men in the house, quite a few were doing studying and this that, and that he will go to England, which actually took place in 80. And then my grandmother was looking for a wife for my father, and this man said your wives' name will start with S or P. And my mother's name is Suparna and Papiya. My mother has two names. And also said my wives' health will not be good. My mother's is of thin build. In India people go for arranged marriages, and it happened after a year or so. So, these are some things my father used to say. And my mother also did not force anything”.

⁸³ Sondage 2005 : 41% des Européens considèrent l'astrologie comme une science (sondage Europeans, Science and Technology, Eurobarometer janvier-février 2005, European commission). Sondage sur la France SOFRES 2000 33% des Français croient en l'astrologie, analysé par Daniel Boy, Revue française de sociologie, 43-1, 2002.

pas une science car « elle n'est pas prédictive, ne fait pas observations, pas de théories, ... ». P.Z estime qu'elle n'est pas scientifique « car elle n'évolue pas, ne se remet pas en question en fonction des critiques. Et ses prédictions sont difficilement vérifiables. » « Aujourd'hui, non » conclut-il, sous-entendu demain peut-être. Une étudiante en master est aussi de cet avis, « aujourd'hui, l'astrologie n'est pas scientifique, mais elle pourrait le devenir » (O.X). Pour un physicien bientôt retraité, « d'une certaine manière, il y a des choses qu'on ne connaît pas bien et qu'on découvrira sans doute plus tard, comme le fait que l'influence des saisons joue, on a découvert que c'est du fait de la lumière. Pour l'astrologie, certes les planètes jouent, mais ce peut être une influence (le jour de naissance) due à autre chose. » (J.X). L'étudiant U.N considère qu'il s'agit d'une science. « Prenons pour exemple le soleil, qui dit-il, nous influence par le biais de la météo, « ce que je pourrais scientifiquement vous démontrer si je menais une étude statistique sur une population d'individus se trouvant sur une même latitude (cela permettrait de ne pas fausser les résultats et d'obtenir effectivement plusieurs humeurs selon que nous vivons en zone tempérée, désertique ou encore polaire). » Tout comme le cas du Soleil, les planètes et les constellations du zodiaque auraient une influence. On observe donc globalement les mêmes critères que ceux proposés par les physiciens indiens : le manque de prédictibilité (on ne peut pas vérifier ses prédictions), et par contre d'autres arguments, comme le caractère statique de cette discipline.

Science et esprit critique

Cette analyse concernant la place de l'astrologie pour les physiciens nous a conduits à constater que les physiciens indiens se montrent particulièrement défenseurs des spécificités de la science. Le physicien L.X considère que la science peut apporter beaucoup en Inde, en développant l'esprit critique, en luttant contre les superstitions. On peut se demander si c'est leur esprit critique qui les a amenés à devenir scientifiques, ou bien, si c'est leur formation scientifique qui a développé chez eux un esprit critique. Ce que nous entendons par « esprit critique » c'est l'attitude de remise en question et de soucis de la vérification. Le post-doctorant U.N trouve qu'en Inde, les gens sont trop religieux, superstitieux, que beaucoup croient en l'astrologie, qu'il n'y a pas assez de science, que les gens ne sont pas assez scientifiques globalement et surtout les politiques. Pour A.J aussi, les gens sont trop superstitieux. Lui dit qu'il est devenu critique grâce à l'éducation. R.K dit qu'il est devenu critique en grandissant, en développant sa capacité de réflexion, avec son éducation. Il raconte comme son père désapprouve son absence de religiosité. R.W estime que c'est parce qu'elle a eu une tradition familiale vouée à l'esprit critique qu'elle a fait de la science. Dans l'ensemble, il apparaît que les deux sont liés, leur esprit critique a favorisé leur choix de devenir scientifiques et leur éducation scientifique a renforcé leur esprit critique ! Leur origine sociale (Calcutta, milieu éduqué, intellectuel, etc) a, semble-t-il, favorisé le choix de devenir scientifique, ce qui explique en partie pourquoi nos physiciens excluent tant l'astrologie du monde scientifique. Il ne faut pourtant pas dire qu'ils la rejettent en tant que telle. Pas plus que les autres formes de savoirs traditionnels. Ils marquent simplement une démarcation nette entre ce qui est vérifié et ce qui ne l'est pas, ce qui est du domaine de la science et ce qui ne l'est pas. R.W pense qu'il faut voir ce qu'il y a de bons dans les traditions du passé, ne pas tout rejeter. Il faut garder des valeurs, des cadres de pensée, et une manière de juger ce qui est bon ou pas (elle cite la Bhagavad Gita en exemple). Elle constate, qu'aujourd'hui, en Inde, les jeunes intellectuels veulent rejeter tout ce qui est ancien. Ce n'est pas bon estime-t-elle. Dans notre échantillon, nous ne remarquons pas que les jeunes sont spécialement plus critiques que les anciens, mais les femmes par contre oui. Elles critiquent d'ailleurs surtout le statut de la femme. L.K, jeune doctorante estime que « this society suffers a lot from the way people live their lives. The statute of women for example. The amount of superstition in the society is not

good. We still have problems with religion, violence.” La physicienne R.W estime que la société indienne souffre beaucoup de la manière dont les gens vivent, il y a trop de superstitions, de problèmes avec la religion. Elle même a eu des discussions houleuses avec sa famille, qui n’était pas d’accord avec elle sur les traditions, la place de la femme en particulier. Car elle ne concerne pas un savoir traditionnel mais plus une question sociale. Nos physiciens distinguent nettement les aspects traditionnels qui sont sources de superstition, ou d’inégalités, et les autres. Beaucoup, par exemple pratiquent la musique traditionnelle. « They have global knowledge, they are interested by arts, etc. » fait remarquer L.T. Le post-doctorant U.X considère que beaucoup de physiciens pratiquent la musique indienne, qui, pour lui est une forme de méditation. « Elle procure une ouverture esprit car elle est très flexible sur une base très rigide, avec une métastructure très précise. La musique indienne est différente de la musique européenne, explique-t-il, elle touche à la psychologie de la nature humaine, c’est une expérience plus profonde. Les Rajas invitent à s’harmoniser avec la situation présente ». Dans son cas, la musique et les rituels l’aident à trouver l’harmonie interne, et à garder un esprit ouvert. Il faut donc bien distinguer les différentes formes de savoirs traditionnels, pour comprendre le rapport des physiciens interrogés à ces savoirs.

Principaux résultats

- Les physiciens se montrent critiques envers l’astrologie. Elle n’est pas une science.
- Les physiciens indiens sont plus critiques encore envers l’astrologie que les physiciens français, ils n’acceptent pas que l’astrologie soit enseignée à l’université, comme c’est déjà le cas dans certaines universités du pays.
Le rejet de l’astrologie comme science par les physiciens indiens ne les empêche pas de la pratiquer. Cela rejoint une forme d’hétérodoxie que nous avons appelé plus haut « the indian plural mind ».
- Les physiciens indiens sont globalement critiques envers les superstitions et les inégalités dans le pays, mais sensibles aux pratiques et savoirs traditionnels.
- Les physiciens indiens sont en majorité d’ardents défenseurs de l’esprit scientifique, qui se base sur l’élaboration de la preuve et la prédictibilité.

Avis des physiciens sur les sciences védiques

A travers nos entretiens avec les physiciens, nous avons cherché à sonder leur réceptivité face à ces réinterprétations scientifiques des textes anciens, en particulier au sujet des tentatives de rapprochement entre physique contemporaine et textes védiques. Nous avons comme question « May contemporary scientific knowledge have been known from the ancient sages or mystics ? » et également “May contemporary old knowledge be of any relevance for today’s science ?” Il s’agit de questions complexes pour lesquelles il est délicat de faire ressortir une analyse à partir de statiques. Tout ce que nous pouvons dire statistiquement, c’est que la majorité des physiciens estiment que : oui, le savoir ancien a pu connaître des éléments de savoir contemporain comme la relation entre l’espace et le temps par exemple, ou l’idée d’atome, mais sans pour autant aller jusqu’à dire que ce savoir était précis, vérifié ou expérimenté. Quant à la pertinence des anciens traités pour la science d’aujourd’hui, les physiciens sont aussi une majorité à la reconnaître simplement parce que toute conception du monde un tant soit peu logique peut ouvrir des perspectives à la pensée, ou encore parce que les savoirs artisanaux peuvent se révéler utiles aujourd’hui. Il faut donc distinguer ces différentes positions.

A. Ceux qui croient que la science moderne était connue et pratiquée déjà il y a 2000 ou 3000 ans.

En fait assez peu d'entre les physiciens ont lu des ouvrages de science védique, ou s'y sont intéressés. Ceux qui s'y sont intéressés sont en général ouverts à cette démarche, voir y participent. Par exemple la physicienne U.T fait partie maintenant d'un réseau de connaissance sur les sciences indiennes anciennes. Elle a aussi participé à des documentaires dédiés aux sciences védiques. Dans ces documentaires, on ne la voit pas adhérer directement aux propos des sciences védiques, mais elle représente la physicienne « officielle » qui montre à quel point les connaissances actuelles en physique montrent un univers moins déterministe, plus subjectif, etc, c'est-à-dire un univers tel que les anciens textes de l'Inde le présente. En entretien, elle estime qu'il y a un héritage scientifique très présent en Inde. Dans le Ramayana, il est question, dit-elle, d'avion, de bombe atomique, Et puis il y a aussi, dit-elle, une grande place pour de la logique, l'argumentation. Elle pense qu'il faut développer une science des traditions savantes indiennes, et la joindre à la science contemporaine. Etant étudiante, elle se posait beaucoup de questions sur ce sujet, mais les a mises de côté à l'université car il lui fallait trouver un poste. Et ce n'est que quelques années plus tard qu'elle s'intéresse de nouveau à ces questions, une fois acquis un poste. C'est l'une des plus convaincue sur ce sujet. Quelques autres sont assez proches de cette opinion. Ainsi, deux élèves de master estiment que oui, il y a des sciences dans les textes anciens, mais hélas, disent-ils, à l'université ils ne nous en parlent pas. Ils se sont renseignés tous seuls, grâce à internet. Et aussi dans la famille, qui leur parlent des Vedas et d'autres textes anciens. Pour l'un d'eux, K.W, les Veda contient "the real knowledge". La physicienne K.X dit que « Dans le Ramayana, on trouve des choses incroyables, comme ces machines qui volent ou ces flèches qui vont aussi loin que des drones. Ils ont pu conceptualiser des choses incroyables. Mais les ont-ils réellement construites ? je ne sais pas. Si des gens sont capables de le prouver c'est bien ». Pour la jeune physicienne, L.K "maybe parts of the old knowledge was scientific, I do not know if physics was so advanced. I can not measure if it was science or not. There was some medical knowledge. I don't know if physics was so advanced, like description of airplanes, and so on. They couldn't have done science without experimentations, they may have done experiments in physics. Like for astronomical phenomena. They knew some phenomena like eclipses, people can calculate. They wouldn't use the same description : they will be an eclipse, but, "the sky will be dark". For knowledge like big bang, I don't know". La physicienne R.W a lu une strophe en version anglaise d'un Upanishad qui disait que l'Univers était fait de multidimensions enroulées les unes dans les autres, et a vérifié que c'était bien le sens en sanskrit. Elle est impressionnée par la capacité de raisonnement de ces sages. Elle assimile cela aux connaissances actuelles en théorie des cordes. Elle se dit que chercher de la science moderne dans les textes anciens peut être amusant et intéressant. Quand elle aura du temps, elle voudrait étudier les Upanishads. Cependant, pour elle, ce n'est pas vraiment de la science, car ça n'a pas été vérifié par l'expérience.

Ce sont les seuls à vraiment défendre les sciences védiques dans leur version extrême, c'est à dire l'idée d'un savoir expérimental équivalent au savoir moderne contenu dans les textes anciens, un savoir qui a été oublié pendant des siècles.

Il faut quand même mesurer les conséquences de cette croyance, elle implique :

- Que la réflexion, l'intuition, la méditation ou la révélation peuvent apporter une connaissance scientifique comparable à celle d'aujourd'hui.

- Ou que les anciens sages védiques possédaient les outils expérimentaux nécessaires à ces connaissances (la physique atomique par exemple, ou quantique) bien que les historiens en aient perdus la trace.

B. Ceux qui pensent qu'il y a des choses intéressantes écrites dans les vieux textes

Parmi ceux qui pensent qu'il y a des choses intéressantes dans les anciennes connaissances savantes, voici les différents arguments :

- elles représentent des connaissances scientifiques qui ont conduit à la science moderne, par exemple les savoirs mathématiques ou astronomiques, sur lesquelles se sont développées les mathématiques et l'astronomie. En général, ils font référence à des traités bien postérieurs à la période védique, comme les traités d'Aryabatha, ou Brahmagupta (période classique). Ainsi, le doctorant J.L explique qu' « Aryabatha avait la trampe d'un Newton. Ensuite on s'est mis à l'astrologie ! » U.N évoque aussi les mathématiciens-astronomes avant le Moyen-âge. Pour la physicienne L.B, "They had scientific knowledge, logical thinking and instruments in maths, astronomy, etc., even in vedic times".
- intéressantes car ce sont des pensées conceptuelles, sur l'univers, qui ne sont pas vraiment basées sur des études expérimentales, mais elles ont un type d'argumentation intéressant. Le physicien C.H pense qu'il y a beaucoup de sciences acquises par le raisonnement pur. K.P dit qu'il y a des choses sur la création de l'univers dans les textes Sikhs, et que c'est cohérent car ça parle d'infini, de choses conceptuelles. L.T estime qu'il n'y a pas de savoir quantifié, mais un savoir qualitatif, par exemple pour comprendre la conscience, mais il n'y a pas de savoir vieux ou nouveau, il y a du savoir, c'est tout. Valable ou pas. Le savoir indien ancien peut être vérifié non par les expérimentations mais par l'expérience personnelle "not with experiments but with personal experience". Pour L.L, il n'y a pas de machines volantes dans ces textes (« flying machines »), des concepts, comme des étapes dans la connaissance humaine "steps in human understanding". If Socrate is relevant the old Indian knowledge too. In Indian system, reality is an illusion, observer and object have not to be separated. The goal is that they become one. J.T pense qu'il existe un savoir scientifique issu de l'observation. Il a essayé de lire les Vedas, en Sanskrit c'était mais trop dur pour lui, et les traductions sont des interprétations, à son avis, donc il ne peut pas se prononcer. I.U répond : "Oh yes ! They had good logics, good reflections on the fundamental nature of universe, space time observations ». Ces savoirs sont aussi très attachés à l'influence des différents contextes, à la pensée abstraite car il n'y a pas d'expérimentation, mais elles sont riches conceptuellement, par exemple sur le principe de cause à effet. Elles sont utiles pour la science d'aujourd'hui dans le sens où elles nous forcent à penser, à réfléchir." Ce sont des pensées non tranchantes ("sharply"). L.B et L.J ou encore K.X estiment que les anciens sages de l'Inde ont eu de grandes capacités de conceptualisation, de réflexion, mais sans aller jusqu'à dire qu'ils avaient des connaissances de physique contemporaine. U.X cite Brahmagupta (VII^{ème} siècle) qui aurait pensé à l'hypothèse d'une machine à mouvement perpétuel mais sans chercher à la fabriquer, c'est au contraire ces tentatives répétées et échouées en Europe qui ont permis tant de progrès en physique, même théorique. Ces connaissances sont donc souvent restées conceptuelles, théoriques.

- intéressantes d'un point de vue des savoirs pratiques. N.J apprécie leur intérêt sur des disciplines pratiques comme en écologie, en santé, en gestion communautaire, mais pas en physique car dit-il, il n'y avait pas d'expériences. En tous cas, dit-il, l'arrogance de la science moderne est néfaste, nous devons être respectueux des autres savoirs, même les savoirs phénoménologiste, d'observation. Bien sûr, on ne doit pas tout prendre, il faut sélectionner, car on trouve de tout ! Y.N évoque les techniques de santé (Āyurveda), d'artisanat (« handcraft »), des communautés locales (« local problems »). Ils avaient des connaissances astronomiques, et ont perçu l'évolution de l'univers, de manière encore pertinente. Pour L.T, «In India, there was a huge tradition of technological knowledge, in chemistry specialty for Āyurveda , in metallurgy, especially for steel. But they were separate kind of knowledge ». Le savoir technique était séparé du savoir abstrait.

C. Ceux qui rejettent tout lien entre science moderne et textes anciens

Par exemple, U.N estime que pas mal de gens tentent de rapprocher les connaissances anciennes des savoirs modernes mais que ça n'a aucun intérêt, que ce sont deux choses différentes, la science d'un côté, le mode de vie de l'autre. En fait, il avoue ne pas connaître le contenu de ces rapprochements. Néanmoins, il est un utilisateur et un défenseur de la médecine ayurvédique (science de la longévité). Il estime que ce savoir a été acquis par l'expérience répétée, avec des huiles et des plantes. « Ça marche peut être un peu moins vite (sous entendu que la médecine « moderne » mais s'il ne la désigne pas) mais ça marche. Il ne connaît pas vraiment ses aspects théoriques ». Pour I.P, il n'y a aucune science moderne chez les anciens, « tout comme pour les théories d'Aristote dont certaines se sont avérées totalement fausses. Certaines se sont avérées valides, d'autres non, et certaines personnes ne veulent voir que les choses valides ». A.Di ne pense pas que ces textes puissent se révéler utiles pour la science contemporaine, et qu'il n'y a rien de tel d'écrit dedans. Il apprécie néanmoins les traités d'Āyurveda de l'antiquité qu'il a lus en Sanskrit.

Le philosophe indien des sciences Sundar Sarukkai écrit dans son ouvrage *Indian philosophy and philosophy of science (2005)*, que “We can identify two broad claims (p1):

- one is that ancient Indian civilizations had elements of the scientific and the technological, as manifested in their advanced theories in mathematics, astronomy, linguistic, and so on. This is a claim that can be verified since there has been substantial documentation on this subject. It is indeed true that Indian society has developed techniques, methodologies and result in fields such as astronomy, mathematics, linguistic and metallurgy, which were much more advanced than in other contemporary civilizations. Chattopadyaya, 1996 par exemple. Cette posture correspond à la posture B, en particulier le premier tiret.
- The second claim is that some concepts in modern sciences particularly in quantum theory and cosmology, are described by and anticipated in ancient Indian thought. This is not only a contentious claim but also one that is untenable or even undesirable. Modern science, particularly quantum theory, is a discourse which is unique in many respects and to claim that some elements of it are actually what the ancient Indian thinkers were talking about is to mistake the nature of both Indian philosophy and modern science.” Cette posture correspond à la posture A.

L'auteur rejette donc les tentatives de rapprochement qui cherchent à trouver de la science moderne dans les vieux textes sanskrits. Par contre, il est très favorable au rapprochement de la philosophie des sciences actuelle aux philosophies anciennes. Il estime que la philosophie indienne peut être pertinente pour la philosophie des sciences contemporaine, en particulier la tradition indienne de logique. Celle-ci n'est pas seulement engagée dans l'acte de

connaissance mais aussi dans les formulations théoriques de catégories telles que l'inférence, la concomitance invariable, l'empirisme etc. (p 4) Il considère que le dénie total de traditions philosophiques non occidentales dans les courants principaux de philosophie des sciences actuelles est basée sur la croyance que la science moderne est un produit de la civilisation occidentale et que donc, son analyse doit être faite dans les traditions provenant de cette civilisation (p6). Il y a des espaces méthodologiques en commun entre les traditions rationalistes indiennes et la pratique de la science moderne. La philosophie indienne a été profondément engagée dans le développement de disciplines telles que la logique, l'épistémologie et la philosophie du langage, où des termes philosophiques tels que « empirisme », « nature de l'inférence » et « causalité » étaient partie intégrante. Les théories indiennes du débat comme le Nyāya, sont d'un grand intérêt pour la science car la nature du débat - description des différents types d'arguments, des différents types d'erreurs qu'il est possible de faire lors d'un débat, etc. – est fondamentalement concerné par la question de la transition entre le savoir personnel et le savoir commun » (p6). La différence principale qu'il trouve entre ces deux démarches (philosophie des sciences contemporaine et logique indienne) est que « Philosophy of science, based on western philosophy and logic, is actually searching and demanding for logic in science. In contrast, Indian logicians were demanding that logic be scientific. This is this question of priority, whether logic comes first or science, that is at the heart of the difference between Indian and western logic” (p.13).

Nous n'avons pas, comme nous l'avons déjà signalé, posé cette question aux physiciens français, en tous cas de manière systématique. C'était un bonus, quand nous avions du temps supplémentaire pour l'entretien (selon qu'ils étaient pressés ou pas !). Ainsi nous avons pu recueillir quelques avis, non pas au sujet des physiques védiques, peu connues des physiciens français, mais des formes de concordisme. Ce mot désigne les différentes tentatives d'interprétation de textes religieux (exégèse) pour les faire coïncider avec les résultats scientifiques actuels. Un des physiciens français, qui se revendique chrétien, X.U, estime que les anciens savaient observer : comment ont-ils remarqué dans la Bible que l'homme avait été créé après les animaux ? Par l'observation fine. Pour lui, la Genèse est symboliquement proche du Big Bang : 1 jour représente 1 million d'année. Certains rapprochements ont été faits de manière fructueuse. Ainsi l'abbé Lemaître, avec sa « théorie de l'atome primitif », explique l'origine de l'univers avec une théorie qui aboutira à la théorie du Big Bang. Mais il préconise de faire attention aux excès, de ne pas mettre la science au service de la religion ou inversement. Lui est un cas extrême de ceux qui estiment que des rapprochements sont possibles. La grande majorité ne trouve que le contenu « savant » de ces textes reste du domaine de la philosophie, de l'hypothèse. La science est basée sur des expériences (sauf les axiomes mathématiques) dit par exemple E.I Et si l'on peut faire des rapprochements c'est simplement pour trouver un peu d'inspiration. W.W est aussi de cet avis, les anciens sages, religieux ou non, peuvent avoir pensé les modèles, les théories. Par des formes de visions, dit J.R, d'intuitions. Par exemple, dit encore W.W, les Grecs ont imaginé atomes. Des lois peuvent être pensées, mais les faits lui donneront raison ou non. Et c'est ça la science.

Concernant les connaissances anciennes, l'astrophysicienne H.I rappelle que certains ont connu la distance terre-lune avant notre ère, puis après, donc qu'il y avait des formes de connaissances avancées à cette époque, qui ont pu disparaître pendant des siècles, avant de réémerger. Cependant, il y a eu des hypothèses valides et des hypothèses non valides, et quand on veut faire coïncider des textes anciens avec les connaissances actuelles, on a tendance à ne se focaliser que sur les thèses valides, celles qui coïncident !

La grande majorité de ceux avec qui nous avons abordé ce sujet sont plutôt en B, voire en C, comme les physiciens indiens.

Principaux Résultats

- Nous ne trouvons donc pas d'engagement en faveur du concordisme, ni parmi les Indiens ni parmi les Français. Seuls un ou deux physiciens y sont favorables côté indien.
- Au contraire des promoteurs des sciences védiques, les physiciens indiens rencontrés ne cherchent pas à montrer la supériorité de la culture indienne, mais la globalisation du savoir.
- Les physiciens indiens sont peu informés des rapprochements élaborés entre certains courants hindous et science moderne.

Matérialité de la conscience

A la suite de notre analyse sur ce qui entre en jeu dans les rapports entre science et formes traditionnelles de savoir, se trouve la question de la matérialité de la conscience. Comme cela a été expliqué en introduction, nous avons en objectif principal, l'étude de l'influence de la culture sur les représentations du réel par les physiciens. Nous avons étudié leur attitude vis-à-vis des critères de la science, vis-à-vis des logiques non duelles, des mathématiques, de l'astrologie, des sciences védiques. Nous nous intéressions ici à la conscience, dont il nous faut définir ce qu'elle signifie. Elle se révèle un excellent objet de frottement entre valeurs scientifiques et savoirs traditionnelles. Et les différences entre physiciens indiens et français se font nettement sentir à son sujet. Cette analyse nous a déjà été utile dans la partie sur l'observateur en physique quantique. Nous allons ici tenter de mieux cerner le statut de la conscience, pour les physiciens interrogés.

Question posée et répartition des réponses

Dans un questionnaire, proposé par une revue philosophique en ligne, *Philpapers*, se trouvait en 2012 une question sur le lien entre conscience et matière. Le questionnaire était destiné aux philosophes et physiciens, pour tenter de répertorier les différentes positions. Les enquêtés devaient choisir entre ces quatre avis concernant le lien entre conscience et matière. Soit :

1. la conscience (l'esprit) et la matière (électrons, quarks, neurones, synapses) sont deux réalités distinctes
2. la matière a la primauté sur les événements conscients de sorte que la conscience est identifiée à une structure matérielle
3. la conscience a la primauté sur les événements matériels de sorte que la matière est identifiée à une structure de la conscience
4. la matière et la conscience sont des aspects ontologiquement non séparés d'une réalité sous-jacente.

Les postures 1 et 4 reviennent à décider si la conscience et la matière sont deux réalités distinctes. Les postures 2 et 3 reviennent à deux grandes attitudes faces à la conscience : que nous appellons matérialistes (2) ou non matérialistes (3). Nous avons proposé l'ensemble de ces quatre options dans les premiers entretiens, puis nous avons vite fini par ne garder que les 2 et 3. Ceci s'explique parce qu'auprès des physiciens, nous avons surtout cherché à savoir si, pour eux, la conscience était matérielle ou non matérielle, ce choix pouvant induire une représentation du rôle de l'observateur dans la mesure en physique quantique. Et la question devenait ainsi plus accessible, plus simple, ce qui était appréciable pour ces discussions déjà très sollicitantes intellectuellement pour les « pauvres » physiciens.

| Conscience | Physicien français | Physicien indiens |
|--------------|--------------------|-------------------|
| Matérielle | 59% | 44% |
| Immatérielle | 25% | 56% |
| ne sait pas | 16% | 0% |

Tableau 10: on remarque une inclination vers la non matérialité de la conscience chez les physiciens indiens. Il ne faut pas négliger dans l'interprétation de ces réponses le fait que certains "non matérialistes" n'osent pas avouer leur croyance, à cause de l'institutionnalisation du matérialisme dans le milieu académique que souligne Baruss (2008, p289).

Conceptions de la « conscience »

La définition de la conscience nécessite d'être clarifiée. Lorsque nous avons interrogé les physiciens sur la relation entre conscience et matière, nous avons proposé que la première soit définie comme « la perception d'un JE qui existe ». Il existerait sans doute d'autres définitions de la conscience, plus consensuelles, et si nous avons choisi celle-ci, c'est pour renvoyer à la problématique de l'observateur. En tous cas, ce que nous cherchons à déceler à travers cette question, c'est leur degré de matérialisme. C'est aussi en lien avec les frontières de la science : une conscience non matérielle peut-elle être appréhendée par la science ?

En philosophie de l'esprit, il existe différents termes pour qualifier les relations entre conscience et matière. Dans l'épiphénoménalisme, par exemple, la conscience est un épiphénomène de la matière (qui en découle). Les philosophes du monisme neutre tels que Spinoza concevaient l'esprit et la matière comme deux "attributs" de la substance unique, infinie et éternelle, comme deux aspects *intelligibles* de cette substance. Cette idée de distinction épistémique entre l'aspect mental et l'aspect physique de la substance unique a été reprise et ré-interprétée par Russell dans son "Analysis of Mind" (1921) lorsqu'il affirme, par exemple, que nous appréhendons l'unique substance avec des « constructions logiques différentes » : la physique est utilisée pour appréhender son aspect matériel tandis que la psychologie est notre mode d'approche de son aspect mental (Uzan 2012). Pour le monisme matériel, tout est fait de matière et chaque phénomène a une origine matérielle à laquelle il peut être relié. Dans une intervention sur le thème « La Conscience a-t-elle une base matérielle ? », Michel Bitbol (Bitbol 2013) philosophe français de la physique, se réfère aux travaux récents en neurosciences. Il classe des auteurs comme Chris Koch ou Dan Dennett dans cette catégorie du monisme matériel. Ceux-ci estiment que la conscience est un phénomène physique et biologique, comme la reproduction. Leurs arguments reposent sur la très étroite relation entre les événements mentaux, spécialement le contenu de la conscience et le fonctionnement du cerveau. M.Bitbol écrit qu'« il n'y a aucun argument absolument convainquant, dans la faveur de l'idée que la conscience dérive d'une base matérielle ». Il parle d'une erreur élémentaire de logique, quand quelqu'un dit : « Parce qu'il y a une corrélation entre cerveau et conscience, alors il doit y avoir une relation de causalité entre les deux choses. » Corrélation n'est pas causalité, écrit-il. Le biologiste G.Edelman fait remarquer que, décrire un certain processus neuronal n'est pas le vivre, n'est pas vivre l'expérience qui va avec lui. Il n'est pas possible par exemple de connecter, d'une façon précise, la description abstraite et structurale du processus neuronal et l'expérience. Il y a un gouffre entre les deux. Même Chris Koch estime que la subjectivité est trop radicalement différente de tout processus physique pour n'être qu'un phénomène émergent. Un article de 2008 publié dans le « Journal of Consciousness Studies » (Baruss 2008) analyse les différentes croyances relatives à la matérialité de la conscience. Il rappelle à quel point les notions contradictoires au sujet de la conscience sont variées. Il situe l'origine de la confusion au niveau des variables personnelles et sociales (p278). Il propose de regarder la conscience comme une variable qui dépend des intérêts des chercheurs. Le facteur le plus déterminant s'avère selon cette étude être les croyances personnelles au sujet de la nature fondamentale de

la réalité (p280). Les auteurs distinguent trois types de croyances sur la relation entre conscience et matière. Ceux qui estiment que

- La conscience est un sous-produit, propriété émergente de la matière. Ils sont déterministes, scientifiques.
- La conscience est « importante », il y a un dualisme esprit-matière. Ils sont religieux, traditionnels.
- La conscience est tout ce qui existe. Ils ont des croyances personnelles issues d'expériences transcendantales. "Those with more transcendent beliefs tend to have a more rational and curious approach to the world than those with more materialist beliefs. And, indeed, transcendent beliefs are also associated with greater intelligence" (p277). In fact higher IQ scores corresponded to highly transcendent beliefs (p286).

Etonnement, l'approche rationnelle est donc davantage l'apanage de ceux qui estiment que la conscience est tout ce qui existe et l'approche scientifique est l'apanage de ceux qui estiment que la conscience est matérielle. L'étude distingue donc l'approche rationnelle. Ce classement, aussi discutable soit-il, peut nous donner un éclairage nouveau sur notre propre classement des physiciens, que nous déployons ici.

Analyse des discours des physiciens indiens

Conscience non matérielle

Nous regroupons ici les physiciens indiens qui revendiquent un statut non uniquement matériel à la conscience, ils sont majoritaires (56%). La physicienne L.Z, estime par exemple que : « Consciouness can not be explained by matter ». Pour L.X, la conscience est différente de la matière, elle peut agir sur la matière, par volonté et action des individus. Et l'esprit n'est pas fait de la même matière que le corps. Un post-doctorant en théorie des cordes U.X est aussi de cet avis et aimerait faire plus de travaux en physique corrélés à la conscience, comme Roger Penrose, dit-il. K.P parle de "superconscience": "I don't know what is the good meaning, it is in old Sikh text". Il estime que la science ne peut pas accéder à toute la réalité, car il y a la dimension de l'esprit, une partie subjective. La physicienne U.T dit que, pour elle, le cerveau est matériel, mais pas la conscience. Elle pense qu'il y a d'un côté la manière de prendre conscience de sa propre existence (« awareness »), et de l'autre la connaissance sur la matière. Ce sont deux modes de savoirs différents mais qui interagissent. Pour I.P. ou W.M, les manifestations de la conscience comme les émotions ou le libre arbitre ne peuvent pas être totalement connaissables par la science. Le doctorant J.L estime que, même si on pouvait connaître scientifiquement la part de nous qui connaît, il faudrait connaître la part de nous qui connaît qui connaît et on remonterait à l'infini. C'est cela pour lui la conscience. Et elle n'est donc pas matérielle. Leur argument se fonde donc principalement sur cette auto-observation, sorte de mise en abîme, sur l'observateur qui s'observe.

Conscience matérielle

Regardons à présent la posture de ceux, un peu moins nombreux (44%) qui estiment que la conscience est uniquement matérielle. Pour eux, elle est un phénomène émergent. La doctorante L.K estime ainsi que matière et conscience ne sont pas des aspects séparés de la réalité. La conscience est un phénomène émergent de la matière, estime-t-elle. Elle trouve qu'il est difficile de se positionner sur ces questions d'un point de vue de physicien : « I can not separate that – le fait d'être physicienne- from my thinking » (S.K 18.43). De fait, elle se place du côté matérialiste. N.J considère la conscience comme un phénomène issu de l'évolution des êtres vivants, c'est un phénomène émergent, tout est matière. Pour la physicienne Y.N, la conscience est un concept.

Physiciens français

Conscience non matérielle

Les physiciens français ne sont qu'un quart à adopter clairement un statut non matérialiste. Parmi eux, se trouve J.Y, qui se dit « spiritualiste ». Il pense que la matière émerge d'une conscience (et pas de la sienne seulement). Pour W.W, la conscience émerge du matériel, mais le dépasse et déborde sur la réalité non arpentable. Certains évoquent une réalité qui n'est pas que matérielle, de laquelle émergent matière et conscience. Le théoricien X.U estime que Dieu a créé un « substrat » qui contient la matière et la conscience. Pour E.I comme pour J.R, matière et conscience émergent d'une réalité première qui n'est ni l'une ni l'autre. Selon X.Z, matière et conscience sont des noms qu'on donne à des expressions de l'expérience « l'une et l'autre sont deux faces d'une même réalité expérientielle » mais on ne peut connaître cette réalité totalement car « la raison ne peut pas accéder à sa propre source. » P.X dit que « les scientifiques ne sont pas moins spirituels que les autres ». En tous cas, les physiciens français semblent moins spiritualistes que les physiciens indiens, si tant est qu'on désigne pas ce terme la croyance que la conscience n'est pas (que) matérielle.

Conscience matérielle

La majorité des physiciens français (59%) attribue un statut matériel à la conscience. Ils la considèrent comme une propriété émergente de la matière. Pour le physicien U.Y, la conscience elle émerge du monde physique. Pour l'astrophysicien U.Z, il est impossible de décrire la conscience car elle possède un niveau de complexité trop important. W.I regarde la conscience comme « un pôle de l'infiniment émergent, un affleurement », et la conscience n'est pas connaissable entièrement par la science car elle n'est pas reproductible. Pour P.Z, la matière est un ensemble de structures, de « champs » qui interagissent entre eux, et dans l'objet qu'on appelle le cerveau produisent un JE qui existe. Il estime que le système le plus complexe est le cerveau humain : « Je ne suis pas sûr qu'un cerveau humain puisse comprendre un cerveau humain ». Il se dit inspiré par le bouddhisme zen où la réalité échappe à notre appréhension discrète, parcellaire, conceptuelle. Le physicien U.R ne voit pas « comment faire sans base matérialiste ». Même s'il lui est difficile de donner des bases matérielles à la conscience, il pense qu'un ordinateur pourrait la décrire entièrement. La physicienne L.I se dit assez matérialiste pour la conscience et malgré ses réflexions métaphysiques, n'arrive pas à penser autrement. L'astrophysicienne H.I lie l'attitude scientifique à l'attitude matérialiste : « je vais faire ma scientifique, dit-elle, je suis très matérialiste ». Pour N.I La conscience est une conséquence de la raison. X.P estime que la conscience émerge de la matière, « ce qui n'enlève rien à la valeur de la conscience », dit-il. U.U pense que faire émerger la matière de la conscience risque de conduire au solipsisme. Adopter un réalisme naïf, est, estime-t-elle, plus fructueux et moins déprimant : « On peut choisir suivant sa sensibilité où on va mettre le curseur, pour moi, il est plus réconfortant de mettre le curseur plus près du réel dur ». On voit ici qu'il peut donc exister un lien entre la conception d'une conscience matérielle et une attitude qu'ils qualifient de « scientifique ».

Biais lié à l'âge

Parmi les physiciens français, les jeunes semblent se ranger un peu plus du côté du matérialisme, alors qu'en Inde, l'âge ne semble pas jouer. L'écart n'est pas assez significatif pour conclure quoi que ce soit. L'analyse mériterait davantage de répondants.

Principaux resultats

- La conscience est majoritairement considérée comme matérielle par les physiciens français, immatérielle par les physiciens indiens.
- Les physiciens indiens semblent influencés à la fois par leur statut de physicien qui les pousse vers le matérialisme, et leur croyances culturelles, dans lesquelles le statut particulier du sujet auto-connaissant ne relève pas d'une réalité uniquement matérielle.
- Pour les physiciens français, la matérialité de la conscience va avec l'esprit scientifique.
- Ceux qui conçoivent la conscience comme matériel lui attribuent un statut émergent.
- Le principal argument en faveur de la conscience non matérielle, concerne « la conscience que nous avons une conscience, le regard qui se regarde.
- Il ne faut pas non plus négliger la grande proportion de physiciens indiens qui estiment que la conscience est matérielle. Elle montre aussi que l'esprit scientifique, considéré par beaucoup, comme matérialiste, imprègne les physiciens malgré la tendance culturelle que nous venons de souligner.

discussion

Nous avons vu que les physiciens indiens interrogés sont, dans l'ensemble, favorables à l'idée d'une dimension non matérielle de la conscience. En revanche, une majorité de physiciens français ne se prononcent pas ou bien optent pour la matérialité de la conscience. Y aurait-il un héritage culturel qui pourrait expliquer cette différence entre les deux groupes de physiciens ? Dans la tradition philosophique européenne, il existe des penseurs matérialistes aussi bien que des penseurs non matérialistes, même si la tendance matérialiste se montre plus récente. La pensée spiritualiste dominait avant l'émergence des Lumières en Europe. Une différence apparaît avec l'Inde chez qui l'ensemble des courants philosophiques semblent pencher en faveur de la matérialité de la conscience. L'Inde a connu une école de pensée matérialistes -c'est-à-dire qui considèrent que tout est matière-, celle de Charvaka à l'époque classique. Mais elle reste une exception. Le principal argument des physiciens indiens, on l'a vu, en faveur de la conscience non matérielle, concerne « la conscience que nous avons une conscience, le regard qui se regarde. Or, comme le dit le spécialiste de l'Inde, H. Zimmer « l'effort de la philosophie indienne a été pendant des millénaires de connaître ce soi adamantin, d'en rendre la connaissance effective dans la vie humaine » (Zimmer 1978). Sundar Sarukkai Celui-ci estime que "There is a causation which does not only refer to mater. This is very specific to Indian culture. Consciousness or soul are not in the body. Only spirit is in the body [...] Indian mind is very comfortable with this, it has always been confronted with matter and non matter. Every thing is about matter and non matter".

En introduction à cette thèse, nous avons décrit le cheminement qui avait guidé initialement notre problématique. L'un de ces questionnements était : « y a-t-il commensurabilité entre le monde scientifique qui s'intéresse à la matière et le monde culturel et spirituel qui s'intéresse à l'esprit ? » Nous n'avons pas apporté de réponse à cette question, mais nous avons éclairci la manière dont les physiciens se positionnent à ce sujet.

Science et religion : bon ou mauvais ménage ?

Dans la suite logique de la matérialité de la conscience, nous allons nous intéresser au ressenti des chercheurs à propos de la relation entre science et religion. Existe-t-il une opposition ou, au contraire, une coopération entre ces deux pôles de savoir ? Comment les physiciens indiens vivent-ils la rencontre entre démarches scientifiques et démarches spirituelles ? Encore une fois, ce genre de questions nous permet de mieux cerner ce qu'est la science, pour les

physiciens interrogés, et quelles sont leurs options philosophiques ou thématiques dans le cadre de la connaissance scientifique.

Question et répartition des réponses

Nous avons posé à la fois aux Indiens et aux Français la question suivante : « Est-ce que la religion et la science sont concernées par des questions communes ? » Il faut souligner que le mot « religion » n'a pas la même signification entre les deux pays, ni même au sein d'un même pays. Les différents sens ont en commun de désigner une démarche qui aspire à la connaissance de la Vérité, sans passer par des études expérimentales sur le monde matériel, en bref, qui est en marge de la science. La religion procède d'une approche dogmatique, Notons que religion n'est pas spiritualité, celle-ci invitant à chercher la vérité au-delà des dogmes, mais nous n'avons pas parlé ici de spiritualité. Un physicien interrogé fait remarquer (S.K) "Its depends of what is religion. Any thing that you can not explain is a god. Gof of light, of rain. Then, a way of trying to know them". Pour lui, la religion est tout ce qui nous permet de connaître ce qu'on ne peut expliquer. Donc, tout ce qui est en marge de la science... Nous analysons ici les réponses afin d'éclairer la manière dont ils perçoivent la religion, ou la spiritualité, quel est son champ d'investiture et y-a-t-il superposition, pénétration, conflit avec la science ? C'est en ce sens que cela permet de comprendre ce qu'est, pour eux, la science.

| Est-ce que la religion ou la spiritualité et la science sont concernées par des questions communes ? | Physiciens français | Physiciens indiens |
|--|---------------------|--------------------|
| Oui | 63% | 18% |
| Non | 38% | 82% |

Tableau 11 : répartition des réponses des physiciens à la question « Est-ce que la religion ou la spiritualité et la science sont concernées par des questions communes ? ». Pourcentages établis sur un total de 32 réponses de physiciens français et 22 de physiciens indiens. Le faible nombre de physiciens s'explique parce que les réponses avaient fini par être systématiquement les mêmes comme on va le voir ci-dessous. Concernant les physiciens indiens interrogés, la religion et la science ne s'opposent pas car elles ne sont pas concernées par des éléments communs, ils sont une très large majorité à aller dans ce sens. Ce n'est pas le cas pour les Français, la majorité estime que la science et la religion sont concernées par des éléments communs et s'opposent le plus souvent sur ces éléments.

Physiciens indiens

Place de la religion en Inde

Il peut être utile, avant d'analyser les réponses des physiciens indiens, de décrire dans quel milieu ils se situent, concernant leur religion. La religion se déploie sur une très large gamme de styles en Inde, et elle est très présente, très visible, contrairement à la France. Le philosophe des sciences rencontré S.Sarukkai, a souligné à quel point la religion lui semblait absente de France, à quel point les signes religieux étaient peu présents, comparés à l'Inde ou à d'autres pays qu'il connaît comme les Etats-Unis. En Inde, au sein de la classe moyenne urbaine, dont font partie la majorité de nos physiciens, les visites des temples et lieux de pèlerinage, le recours à des pratiques religieuses traditionnelles n'ont pas diminué avec la mondialisation et ses tentations matérialistes, ces usages se sont même développés depuis les années 1980, même s'ils se sont adaptés. Certains physiciens constatent même un regain des jeunes pour les événements et rituels religieux (Kakar and Kakar 2007). La physicienne L.Z dit qu'à son époque (elle doit avoir 60 ans), c'était plutôt bien vu de ne pas être croyant, et c'était la majorité dans son collège. Mais aujourd'hui, elle trouve que les gens sont plus croyants, même les jeunes. Est-ce qu'ils ont besoin de croire davantage se demande-t-elle ? Les Indiens se livrent encore volontiers en grand nombre aux rites

domestiques, aux jeûnes (vrata) aux célébrations de fêtes religieuses et aux visites de lieux de pèlerinage, même lorsqu'ils sont intellectuels de gauche (nous avons été hébergé chez certains d'entre eux et l'avons constaté). Certes, l'Inde devient de plus en plus matérialiste, ce qui induit des changements profonds. Mais l'importance de la religion reste une valeur commune aux Indiens de même que la famille. La famille et la religion tiennent des places essentielles, « ce sont elles qui donnent de l'assurance » a dit un étudiant rencontré. Celui-ci estime que les anciens critiquent le modèle occidental (et sa science, sa technologie, mais aussi ses modes de vie) qui fait changer les mentalités, rend les gens plus individualistes, éloigne des familles. « Avant il y avait une confiance dans les anciens, dans les parents, la religion. Cela apportait une sérénité » dit une étudiante. Parmi nos physiciens, on l'a dit, il y a une majorité d'hindous – pas forcément pratiquants. Kakar et Kakar distinguent « l'hindou flexible » de « l'hindou nationaliste ». Le premier préfère les gourous et pratiques religieuses qui promettent des bénéfices spirituels plus grands pour un investissement temporel moindre. L'hindou flexible assimile tout tant qu'il ne voit pas de rupture avec sa tradition. Difficile de classer nos physiciens dans ces cases. Dans l'ensemble ils sont assez peu pratiquants. Ainsi, le post-doctorant U.N raconte qu'autour de lui, beaucoup de gens vont au temple mais peu vivent une spiritualité de l'intérieur. Un certain nombre pratique les pujas (prières, rituels) et presque tous vont au temple. A.J raconte qu'il a beaucoup de collègues scientifiques qui sont très croyants, et que ça ne leur pose pas de soucis. Mais lui ne trouve pas de logique à la réincarnation, à l'astrologie. Ça lui arrive quand même de pratiquer des rituels chez lui. U.N par exemple, ne s'estime d'aucune religion. Ses parents, hindous, l'emmenaient au temple mais c'était plus un acte social. Il y va encore, plus parce qu'il aime entrer dans les temples, cela lui procure une paix intérieure. Il participe aussi à des fêtes religieuses, avec ses amis, sa famille. R.K est issu d'une famille pratiquante hindoue ; quand il rentre chez lui, pour ne pas les heurter, il participe aux *pujas* (prières). Son père désapprouve son absence de religiosité. Il est devenu critique en grandissant, en développant sa capacité de réflexion, avec son éducation. Il trouve qu'en Inde (et ailleurs) la religion a tendance à dominer, manipuler. J.O avait une mère très croyante et pratiquante, qui faisait souvent des jours de jeûne. Lui, en fait un peu, mais essaie de dissuader sa mère d'en faire autant. On voit que nos physiciens se situent souvent en décalage par rapport à leur famille, au sujet de la religion. Mais nous avons aussi constaté que le cynisme religieux n'était pas très présent parmi les physiciens interrogés, qu'ils soient jeunes ou vieux.

Avis des physiciens sur science/religion

Pour le physicien U.N, en post-doctorat au CERN, la religion ou la spiritualité n'a rien à voir avec la science. Il a lu la Bhagavad Gita, et ce qu'il en tire, c'est une manière de vivre, d'être en paix, d'être une bonne personne, mais rien à voir avec la science, dit-il. Pour lui, les savants qu'il admire comme Raman ou Babha n'ont rien puisé dans leur héritage culturel ou spirituel. La science est « *western* » (occidentale). La science et la spiritualité sont deux choses séparées et à séparer. Il cite à de nombreuses reprises le moine védantiste Vivekananda, qui est pour lui un exemple de sagesse et auquel il essaie de conformer certains de ses principes de vie mais qui ne représente pas pour autant une référence scientifique. Pour la physicienne R.W, la religion s'occupe de comment mener sa vie, elle ne traite pas des mystères de l'univers. C'est en tout cas, estime-t-elle, ce qu'elle devrait faire. Les trois doctorants J.L, R.I et LW considèrent que la religion en Inde ne s'implique pas dans la quête du fonctionnement de l'univers : savoir comment l'univers a été créé n'est pas un objet fondamental pour les textes mystiques ou religieux. Donc, la religion pour eux, n'empiète pas sur la science. Ils estiment que le savoir des brahmanes est surtout sur les choses politiques, rituelles, mais pas tellement scientifiques. La religion n'est pas vraiment une religion, on est libre de croire en ce

que l'on veut, en des Dieux multiples, une trinité, un absolu, etc. C'est plus des règles de vie en société. La science n'est pas sur le même créneau que la religion. Ils sont nombreux à répondre dans ce sens. Et d'ailleurs quelque soit leur religion. Ainsi, K.P, qui est Sikh, dit que pour lui, la religion a un rôle social : « social and personal values » : faire son travail, être quelqu'un de bien, etc.

Pour la physicienne K.X, qui est hindou, comme la très grande majorité des physiciens indiens interrogés - « religion is to explain life. We can find some philosophical questions in ancient times that have common questions with science, but this is not really religion. » D'après elle, s'il y a pu y avoir des aspects scientifiques, ils sont venus de philosophes qui ne constituaient qu'une toute petite fraction des religieux ou intellectuels de cette époque. La religion, telle qu'elle est vécue aujourd'hui serait donc surtout un guide pour bien mener ses relations sociales, sa vie quotidienne. Quand on dit que l'on ne doit pas laver la chambre le soir, ce n'est pas que de la religion, dit-elle, il y a des raisons valables, car on voit moins bien le soir, quand on dit qu'il faut se laver tous les jours, c'est parce qu'on est dans un pays sale, il y a des raisons valables ! Le physicien R.Ku dit également que la religion parle du dharma, de ce que l'on peut doit faire dans sa vie quotidienne, pas de science. L'avantage de la religion hindou, estime-t-il, c'est qu'on peut croire en ce que l'on veut, il n'y a pas de dogme. On peut croire qu'il n'y a pas de Dieu, la science peut raconter ce qu'elle veut ce n'est jamais vraiment en contradiction. En Inde, où la vie est dure et stressante, la religion permet de donner de l'espoir de donner du sens à ce que les gens ne comprennent pas (la souffrance, etc). Il pense qu'il y a une grande sagesse dans les textes anciens, mais pas de science. Il y a pas mal de scientifiques de sa connaissance qui sont très croyants, mais il ne voit pas de contradiction avec leur statut de scientifique. Pour A.J, la religion est un acte social, chacun est libre de penser ce qu'il veut. Tout le monde s'en fiche. Il dit qu'il pratique la puja pour faire plaisir à mon père, mais qu'on s'en fiche de savoir ce que chacun croit ou non. La physicienne R.W trouve que la religion ne s'occupe que de « comment guider sa vie », pas des questions métaphysiques, des secrets de la nature, etc., qui sont du ressort de la philosophie. Je lui évoque des textes de référence, comme les Upanishads, qui me semblent à la fois religieux et philosophiques, voire scientifiques, elle répond que pour elle, mais c'est apparemment le cas pour nombre d'indiens, les Upanishads s'occupent de philosophie, pas de religion. Et je comprends que pour eux, la religion a une définition bien différente de ce que moi, je mettais derrière (et beaucoup de physiciens français comme moi, on va le voir ci-dessous). Je percevais pour ma part les Upanishads comme un texte religieux, ou en tous cas spirituel. La religion c'est pour eux un ensemble de règles destinées à conduire sa vie. En tant que tel, déjà, ce constat est un résultat !

Notons que quelques Indiens ont quand même trouvé des points de jonction entre science et religion. U.X explique que la lecture de la Bhagavad Gita lui a donné l'ouverture d'esprit et la conviction qu'il n'y a de vérité que par l'expérience. Il l'applique en physique, pousser l'expérience de la théorie des cordes lui permet de développer de nouvelles théories mathématiques auxquels les mathématiciens n'avaient pas pu penser. Pour la physicienne L.B, «before, people were afraid of thunder, eclipses, now because we understand it, we don't need anymore a divine explanation, but there are so many things that we do not understand such as origin of universe and so on, that sometimes it can be good to have religious explanations. It is a good idea to mix them ». Cette physicienne soutiendrait donc le mysticisme quantique. Il y a quelques physiciens indiens qui trouvent que la religion est un frein pour la science, mais ils sont en minorité. D'ailleurs, il s'agit davantage d'une critique des superstitions que de la religion. Ainsi, pour T.P, la superstition empêche les gens d'adhérer à la pensée scientifique, pèse aussi sur le gouvernement, mais il y a des gens intelligents qui savent que superstitions are superstitions, mais ils veulent préserver la religion

car elle rassure les gens et ils veulent être réélus. Le point de conflit pour lui c'est que "religion doesn't believe in predictions of science".

Nous pouvons donc constater que la grande majorité du discours des physiciens indiens affiche une absence de jonction et donc de conflit entre religion et science.

Physiciens français

Chez les physiciens français, nous observons un discours opposé concernant la jonction entre science et religion. Ils estiment en majorité que la religion et la science sont concernées par des questions communes (voir Tableau 11). Pour H.I, il y a même beaucoup de questions communes, tous les « pourquoi ? », et les « comment ? ». la question des origines (Y.Z), pourquoi on est là ? (J.R), l'origine de l'univers ? (Y.R) expliquer le monde (J.N), l'évolution, origine de l'univers (P.Q). tout ce qui concerne la partie arpentable (W.W). Il y a aussi les questions d'éthique qui mettent les deux en relation, à cause des problèmes moraux soulevés par la science (L.I). « Celle-ci, dit-il, n'est pas isolée dans une tour. On se fait parfois aider par des sociologues, des épistémologues, précise-t-il. Par exemple dans le débat national sur les nanotechnologies ». Pour E.T, ce sont les mêmes questions que se posent la science et la religion, mais elles n'ont pas la même façon d'y répondre. « Pour la religion, c'est dogmatique. Pour la science, je ne sais pas c'est une question intéressante ». Pour N.I, il y a beaucoup de questions en commun : les lois de l'univers (est-ce Dieu qui les a écrites ?), de la gravitation, de l'origine de la vie, etc., mais pour lui, la religion n'utilise pas d'expériences et elle a érigé des réponses. Ces questions communes concernent la nature profonde de l'univers, estime P.Z, or la science émerge de cosmogonies, mais elle propose un récit alternatif, testable, quantifiable. Le physicien L.P qui se déclare athée, pense que toutes les questions traitées par la religion peuvent être traitées aussi par la science. D'après le jeune Y.Z, elles ont des pensées qui peuvent cohabiter en paix mais cela demande à la religion de redéfinir son rôle. Elles n'ont pas souvent fait bon ménage, estime J.J. Pour F.I, il faut combattre les religions car elles sont un instrument de pouvoir et de carcan idéologique. A l'inverse P.X trouve que tous les apports sont bons pour répondre aux questions fondamentales. Enfin pour U.Y, « la science est une institution qui permet d'avoir des filtres assez systématiques, mécanisme de contrôle, développe esprit critique. C'est jamais parfait, mais c'est ce qui développe le plus la critique, donc permet mieux de s'approcher d'une vérité. La religion a des prétentions pour décrire le monde, mais n'est pas efficace ! Il n'est pas d'accord avec séparation radicale de Gould (Gould 1999), qui induit une séparation illusoire. Il cite Leibniz, Descartes, Newton : il n'y avait pas de coupure entre les deux ! » Finalement, estime J.J, science et religion servent à se rassurer. La plupart des physiciens français interrogés affichent un rejet de la religion, comme N.X et N.T qui leur reprochent d'être trop dogmatiques.

Quelques-uns, très peu trouvent qu'il n'y a pas de lien entre elles. Pour E.I, « la religion s'occupe du pourquoi, la science du comment ». M.C a vu des croyants faire de la science à haut niveau. Et comme lui est haté et qu'ils travaillent sur la même chose, il faut bien que ces deux aspects n'aient aucune relation ! J.I aussi connaît plusieurs personnes qui sont physiciens et pratiquants convaincus, « j'en tire la conclusion qu'il n'y a pas de contradiction car elles ne sont pas sur le même terrain ». X.P rejoint la posture des physiciens : il a des exigences morales, spirituelles qui peuvent être considérées comme de la religion et auxquelles la science ne peut répondre. Ils sont minoritaires à envisager cette différence de domaines. Au contraire des physiciens Indiens.

On voit bien, dans cette comparaison, les postures radicalement différentes des Indiens et des Français. L'histoire religieuse n'est pas du tout la même, et ses relations à la science fort différentes.

discussion

Nous remarquons la forte différence exprimée chez les physiciens indiens et français au sujet de l'opposition science/religion. Cette différence repose-t-elle sur une différence de perception de ce qu'est la science ou bien de ce qu'est la religion ? Plutôt de ce qu'est la religion d'après les entretiens. Et la non concurrence de la religion et de la science en Inde peut provenir du fait que « La réalité « suprême » est réputée inaccessible à toute pensée conceptuelle et donc, à toute pensée scientifique. Traditionnellement, la connaissance savante n'avait pas pour but d'atteindre cette réalité, mais de permettre à l'homme de s'y conformer. Dans son article dans le journal *Isis*, "The Enchantment of Science in India », Shruti Kapila (Kapila 2010) explique le développement de la science moderne en Europe était un événement, en ce qu'elle était une rupture dans les dispositions préexistantes entre les connaissances, la religion, et l'autorité largement interprétées comme la tradition des Lumières. La science avait conduit, en dépit de la tradition dissidente dans le siècle des Lumières, à un désenchantement catégorique avec Dieu. En revanche, en Inde la science n'a pas été un événement. L'acceptation de la science en Inde, en fait, a défié les termes de référence européens. Ni l'exil, ni la mort de Dieu ne pourrait jamais être déclaré, cela n'est pas du domaine du possible. Attention, pour Kapila, il ne s'agit pas d'aller dans le sens de la posture orientaliste qui revendique la nature intrinsèquement spirituelle de la civilisation indienne en contraste avec le matérialisme de l'Occident, il s'agit de dire que la science s'est évertuée à dialoguer avec la religion mais sur en reformulant cette dernière. En d'autres termes, l'inéluçabilité de la science n'a pas eu les mêmes conséquences politiques ou religieuses en dehors de l'Europe et, plus particulièrement, en Inde (p132).

Il est aussi une spécificité indienne, c'est la perception d'une dimension transcendante. L'écrivain S.Kakar écrit que « La réalité « suprême » est regardée comme le but ultime, qui donne sens à l'existence, est, en Inde, réputée inaccessible à toute pensée conceptuelle et même à l'entendement. La réflexion intellectuelle, les sciences naturelles et autres disciplines qui s'appliquent avec passion à saisir la nature empirique de notre monde n'ont donc dans cette culture qu'un statut subalterne par rapport aux pratiques spirituelles. (Kakar, 2012). Selon le physicien L.L, les Indiens sont imbibés de la pensée qui considère le monde comme une illusion, et le savoir sur le monde comme de moindre valeur comparé au travail de l'intérieur. Mais pour beaucoup de nos physiciens, comme nous l'avons vus plus haut, ce n'est pas le cas, la science n'a pas un statut subalterne pour la connaissance. Ce qui les différencie des physiciens français c'est sans doute la possibilité de percevoir des aspects de la réalité par un autre moyen que la science. Une physicienne de notre panel raconte qu' « en Inde, on a une autre appréhension du réel » (U.T) Tout en disant cela, elle fait un geste au dessus de son téléphone, avec un mouvement fluide, courbe avec sa main, au-dessus, comme si elle ressentait quelque chose de plus déployé que le téléphone matériel. « En Europe, on voit uniquement le téléphone. En Inde, on voit quelque chose de plus. » Pour le physicien K.M, « il existe une sacralisation de la nature, présente partout. « *Tat tvam asi* : toi aussi tu es cela. Vraiment chaque indien connaît ça. Même si pour certains c'est dans le fait de ne pas écraser le fourmi qui est la grand mère réincarnée, ou bien être végétarien. La nature est sacralisée. C'est l'imbrication du microcosme et du macrocosme. Donc, connaître le monde physique est sacralisé. La pratique scientifique est comme une sorte de prière à la nature. » dit-il. Ce *Tat tvam asi* dont il parle est effectivement un principe récurrent qui nie toute coupure entre l'idée qu'on se fait de soi-même et l'idée qu'on se fait de la réalité perçue (Pirsig 2013 p155). Pour la physicienne U.T, « il y a en Inde, tout un savoir non écrit. Il suffit de vous poser à un endroit, dans la rue et de rester là à observer. Tout un savoir va petit à petit

vous devenir perceptible. J'aimerais aussi avoir une autre vie pour étudier ce savoir non écrit de l'Inde. « On croit au karma, explique-t-elle, et donc, chaque chose a un sens. Du coup ça joue sur notre manière d'être, de faire de la science, de gérer une équipe, d'enseigner avec des étudiants. Et pour les phénomènes, ils ont aussi un sens. "Everything has a meaning" dit-elle. Le philosophe indien des sciences Sundar Sarukkai explique dans un entretien que nous avons eu : "There is a common philosophical background which exists through religious or cultural texts, like Bhagavad Gita, Ramayana. This is quite recent. It comes from colonialism; when orientalist put on the center stage this type of texts. Before that, every community has his own texts, Shankara Advaita, Jain, Shikhs, etc. But all Indian tendencies believe in the action of spirit. That is declined through the belief in karma, in astrology. Even time have good and bad qualities. This is more about conceptions of time and space. And the conception of spirit. French are far more modernist. Indian society is a religious society whatever it says. French are not. » Nous pouvons donc aller dans le sens que ce qui a été dit plus haut, si les physiciens indiens reconnaissent l'existence d'une dimension non matérielle, tout comme les Français – même si ceux-ci la reconnaissent moins- ils ont surtout comme différence la conviction qu'un accès à cette dimension est possible via une autre forme de connaissance que la science, sans pour autant le mettre en pratique. En tous cas, les physiciens français n'ont pas évoqué cette dimension « transcendante ».

La bonne entente de la religion et de la science en Inde peut aussi provenir du fort pluralisme intellectuel que nous avons déjà signalé à propos de l'hétérodoxie dans les traditions savantes indiennes. On remarque encore de nos jours une ouverture au pluralisme dans la formulation juridique de la laïcité qui figure dans la constitution de l'Inde indépendante. La laïcité indienne a eu tendance à mettre l'accent sur la neutralité en particulier plutôt que sur l'interdiction en général, elle accueille donc toutes les formes de signes ou pratiques religieux. La laïcité française en comparaison est plus rigide : les fonctionnaires n'ont pas le droit d'afficher des signes personnels d'appartenance confessionnelle ni de respecter les coutumes religieuses à l'intérieur de leur lieu de travail. Ces deux pays illustrent deux approches différentes de la laïcité : la neutralité par rapport aux diverses religions (Inde) ou l'interdiction des associations religieuses dans les activités étatiques (France).

Il est indispensable de reconnaître le poids historique de l'hétérodoxie indienne pour parvenir à cerner les processus intellectuels qui ont survécu. Ainsi, explique le prix Nobel A. Seen, « On ne saurait comprendre la religiosité de l'Inde en ignorant l'héritage du scepticisme religieux indien » (Seen 2005 p45). Ainsi comme l'expliquait un physicien rencontré, la religion est très souple en Inde, et tout peut y être intégrée, la science en fait partie.

Néanmoins, on ne peut nier les formes de nationalisme religieux, en particulier hindous. La science est appréciée de ces nationalismes tant qu'elle vient renforcer la religion, et c'est ce à quoi s'évertuent certaines tentatives de rapprochement évoquées plus haut avec les « sciences védiques ». Pour Emmanuel Todd, « L'un des traits constants de l'intégrisme musulman, écrit-il, noté par tous les spécialistes, c'est la force avec laquelle il touche des étudiants en science" (Todd 2007 p28). En Inde aussi, l'intégrisme hindou touche les étudiants en science. Je l'ai remarqué à l'occasion de déplacements dans des universités indiennes. Il est difficile de mesurer l'influence de cet intégrisme sur les étudiants en science en Inde. Parmi les physiciens rencontrés, très peu nous ont semblé relever de l'intégrisme religieux, un ou deux maximum – et des jeunes - pourraient l'être, bien que nous n'ayons pas abordé le sujet de manière directe. C'est l'ensemble des discours qui nous donne cette impression. Au contraire, nos physiciens nous ont semblé à l'inverse de cet intégrisme, doté d'un esprit critique très développé.

Croyance en la réincarnation ?

Une autre des questions posées aux physiciens peut nous aider dans l'analyse de la perception du rapport entre science et religion. Il s'agit de la croyance en la réincarnation. Elle est un élément récurrent des religions pratiquées en Inde.

| Réincarnation | Français | Indiens |
|---------------|----------|---------|
| Oui | 32% | 24% |
| Non | 68% | 76% |

Tableau 12 : répartition des réponses à la question « croyez vous en la réincarnation ? ».

Comme pour l'astrologie, les physiciens indiens affichent moins de croyance en la réincarnation que les physiciens français. Les raisons peuvent être les mêmes que celles évoquées dans le cas de l'astrologie. Vu que la réincarnation est une composante de l'hindouisme, et que nos physiciens indiens sont en majorité hindous, on aurait pu les y croire plus attachés. Là encore, nous sommes obligés de réviser nos idées sur ce qu'est la religion. Vu que leur rapport à la religion est davantage fondé sur la manière de mener sa vie quotidienne, on peut comprendre qu'ils ne se sentent pas forcément concernés par les principes métaphysiques sous-jacents, comme la réincarnation.

On peut aussi supposer que cet aspect est l'un des aspects de leur croyance qui peut être confronté à la science, et donc, potentiellement être biaisé par leur statut de scientifique. La plupart des physiciens, qu'ils soient indiens ou français, font d'ailleurs le lien. Ainsi des élèves de master disent qu'ils pourraient y croire mais qu'ils ont besoin d'une preuve scientifique (U.L et K.W). Des doctorantes disent qu'elles n'y croient pas car « it isn't logical » (L.Z et L.J). Le physicien R.K pourrait y croire aussi, mais il attend une preuve scientifique. A.J ne trouve pas de logique à la réincarnation, donc n'y croit pas. T.P n'y croit pas non plus, mais estime que, « concernant la conscience, la science donne quelques réponses ». La physicienne V.N est partagée entre une posture matérialiste, déterministe et sa propre croyance : « if you are materialist or determinists you should do without but I have some doubt. It is difficult to through it away ». Dans leur réponses, les physiciens français ont aussi tendance à s'appuyer sur des arguments scientifiques. U.N dit ainsi: « nous sommes constitués de matière en majorité non-radioactives donc nos constituants vivront des milliards d'années s'ils ne sont pas excités. J'assimile mon cerveau à des connexions électriques qui stockent des milliards de milliards de Giga Octets d'informations. Je peux donc stocker mon passé, mes capacités et mes émotions à travers des ondes. Or les ondes se propagent dans n'importe quel milieu, donc a priori, je ne peux m'opposer plus longtemps en tant que scientifique à la réincarnation ». H.I croit en la réincarnation des atomes ! A l'inverse, W.W croit en la « réincarnation de la partie non arpentable de la réalité qui, d'une certaine manière perdure et n'est pas localisée dans le temps ». Seul P.X se dit est ouvert à ces idées et n'a pas besoin qu'elles soient prouvées expérimentalement. La grande majorité cependant n'y croit pas.

Ce qui se dégage d'intéressant sur cette question, c'est le recours à des arguments scientifiques pour ceux qui disent y croire, qu'ils soient Indiens ou Français d'ailleurs. Il semble que leurs croyances ont besoin d'être légitimées par la science, dans ce qu'ils veulent faire paraître en tous cas. Nous ne parlons pas des themata, qui sont moins conscientisés.

Principaux résultats

Les physiciens indiens et français ne perçoivent pas le rapport de la religion et de la science de la même manière :

- pour les physiciens indiens, ce sont deux domaines qui s'occupent chacun de choses

différentes, la religion étant confinée aux aspects moraux et à la manière dont chacun gère sa vie.

- pour les physiciens français, la religion s'intéresse aux questions sur l'origine et le fonctionnement de l'univers et de la vie, et elle vient se confronter à la science.
- Ces attitudes différentes sont sans doute liées aux différentes formes de tolérance et de scepticisme intellectuel et religieux, et de laïcité.
- La religion en Inde semble se reformuler au contact de la science.
- Comme pour l'astrologie, les physiciens indiens affichent moins de croyance en la réincarnation que les physiciens français.
- Les croyances associées à la réincarnation se voient passées au crible de l'analyse scientifique, autant par les physiciens indiens que français. Donc, les physiciens restent attachés à leur statut de scientifique pour s'exprimer sur les croyances.

Annexe 13. La déraisonnable efficacité des mathématiques : éléments de réflexions et comparaison

Nous avons évoqué brièvement dans le chapitre VII de la thèse la question posée aux physiciens sur le statut des mathématiques : outil créé par les humains ou bien réalité transcendante. Nous n'avons pas utilisé les réponses à cette question dans la constitution des themata, car nous l'avions au départ envisagé pour le thema idéalisme/empirisme, que nous n'avons finalement pas retenu dans nos analyses thématiques (il était peu exploitable). Cette question en tant que telle, se révèle tellement intéressante que nous synthétisons ici son contexte et les différentes réponses apportées par les physiciens rencontrés. Ceci pourra aussi faire l'objet, peut-être, d'une analyse plus poussée, ultérieure.

Contexte du débat

Nous voulions chercher à voir si, parmi les physiciens interrogés, on trouve un penchant idéaliste, platonique. Ceci, à travers une question particulière :

Les mathématiques sont-ils un outil inventé par les humains ou bien une réalité transcendante ?

Nous cherchons à travers cette question à mieux saisir la relation de nos physiciens avec la réalité mathématique, comment ils la perçoivent, dans son lien notamment avec l'esprit et le réel matériel. Nous cherchons encore ici, à mieux saisir l'influence potentielle des rapports traditionnels au réel, avec les conceptions actuelles des physiciens.

Comment les mathématiques parviennent-ils à décrire si bien la nature alors qu'ils sont le fruit d'imagination humaine qui agissent souvent sans vocations à décrire le réel ? C'est une interrogation fréquente pour les physiciens. Un texte célèbre écrit par le physicien lauréat du prix Nobel de physique Eugene Wigner, "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences" (Wigner 1960) exprime bien le désarroi de nombreux physiciens face à ce mystère. Einstein l'a formulé ainsi : « Comment se fait-il que les mathématiques, étant après tout un produit de la pensée humaine qui est indépendante de l'expérience, soient si admirablement adaptées aux objets de la réalité ? » (Einstein 1921). De nombreux exemples de l'histoire des sciences montrent des objets mathématiques inventés sans objectif d'utilité, et quelques années plus tard, cet objet mathématique servira de manière inattendue à décrire un objet physique. Les nombres complexes, par exemple, impliquent la racine carrée de nombres négatifs. Il n'en existe pas d'analogie dans la nature. Comment alors peuvent-ils formuler et mettre en corrélation de manière si efficace des phénomènes physiques ? Ou encore les espaces de Hilbert de dimension infinie, qui jouent un rôle décisif dans les formulations précises de la mécanique quantique ? Comme l'a remarqué l'anthropologue A. Roy, dans sa thèse, cette déraisonnable efficacité des mathématiques un casse-tête grave pour la plupart des physiciens (Roy 2011 p32). Et la réaction des physiciens devant ce casse-tête est un objet fascinant pour l'anthropologie. Pourquoi l'esprit et la matière, sont considérés comme séparés par certains et pourquoi leur relation – à travers les mathématiques- est-elle considérée comme déroutante ? Les origines de cet étonnement face à la déraisonnable efficacité des mathématiques, touchent pour cette A. Roy, à l'opposition métaphysique de l'esprit et du monde. Elle note ainsi que, si l'esprit et le monde sont habituellement supposés hétérogènes et séparés, tout ce qui suggère leur interrelation semblera mystérieux. Du point de vue de l'anthropologie comparative, on peut supposer que le mystère peut-être moins exorbitant pour les Indiens d'Amazonie du Brésil qui ne sont pas perplexes face à l'intimité de l'esprit et du monde ou la Chine ancienne qui a observé une logique plutôt sophistiquée des oppositions et des dualismes – cependant, soigneusement transcendé. Est-ce également le cas

des Indiens actuels (d'Inde) issus d'une culture où un tel dualisme – entre l'esprit et le monde – est également transcendé ?

Nous n'allons pas ici développer une réponse au problème philosophique de la déraisonnable efficacité des mathématiques. Il a déjà été traité par ailleurs⁸⁴. Nous nous intéressons aux postures métaphysiques ou adhésions thématiques que l'on peut déceler chez les physiciens par leurs réactions devant ce mystère. Les idées mathématiques existent-elles de manière indépendante, et le monde se révèle-t-il arrangé selon ce langage ? Ou bien, les mathématiques ne sont-elles qu'un outil, une abstraction du réel proposé par la pensée humaine inspirée par l'observation de la nature ? Au-delà d'une classification idéaliste-platoniste/empiriste⁸⁵, ce qui nous intéresse est de dresser un lien entre les réponses apportées par les physiciens et ce que cela nous dit de leur rapport au réel.

Questions posées et répartition des réponses

Nous avons cherché à identifier les postures des physiciens par la réponse qu'ils apportaient à la question :

les mathématiques sont-ils un outil créé par les humains pour décrire la nature ou bien, une réalité indépendante ?

| Mathématiques | Français | Indiens |
|----------------------|----------|---------|
| Réalité indépendante | 38% | 40% |
| Outil | 53% | 57% |
| Les deux | 9% | 3% |

Tableau 13 : répartition des réponses des deux groupes de physiciens indiens et français, à la question : les mathématiques sont-ils un outil créé par les humains ou bien, une réalité indépendante ?

Au vu de la répartition des réponses, nous pouvons observer la grande similarité entre physiciens indiens et français. A quoi peut-elle être due ? S'ils répondaient tous « les mathématiques sont une réalité indépendante », on pourrait trouver une raison dans l'énoncé de l'exposé, mais ils sont relativement partagés entre les deux réponses, avec un léger avantage pour les mathématiques perçues comme « outil ».

Ceux qui répondent « outil » sont a priori plutôt du côté d'Aristote, et donc empiristes. Quant aux autres, ceux qui répondent « réalité indépendante », sont plus du côté de Platon, donc

⁸⁴ Par exemple par (Lambert 1988). Il montre que pour répondre, il faut se plonger dans l'histoire des mathématiques. On découvre alors une sorte d'interaction bilatérale autostimulante, avec des phases de développement autonome. Les interactions peuvent sauter les décennies voire les siècles. Quand Riemann développe les espaces courbes vers 1850 c'est de la géométrie pure il faut attendre trois décennies pour que la physique s'en empare avec la relativité générale d'Einstein. Du fait de ce décalage, si l'on isole l'une de ces phases, on voit un mathématicien qui se pose des questions pour elles-mêmes, et des domaines très riches semblent se développer tous seuls. Mais si l'on élargit le regard, on voit que, historiquement, les mathématiques ne seraient pas parvenues seules à leur développement actuel. Dans les années 70 et 80, les théories du chaos et des systèmes dynamiques ont été stimulés par la météo ou la volonté de comprendre la turbulence.

⁸⁵ Pour le platonisme, développé par Platon, il existe des entités intelligibles en soi, dont le contenu est indépendant de la contingence de l'expérience sensible. Cette théorie est une des réponses possibles, à la question du statut ontologique des concepts cognitifs (idées, nombres, ...). Platon défend une posture dite idéaliste. Pour l'idéaliste, le monde est la réalité de l'esprit et l'esprit est, en définitive, la seule réalité. C'est pourquoi on peut aussi soutenir que l'esprit, quand il mathématise le réel, ne fait jamais que s'appliquer à lui-même ses principes mathématiques. Aristote défend une thèse dite empiriste. Cette thèse consiste à dire que l'application des notions mathématiques au réel n'aurait rien d'extraordinaire en ce sens que les notions mathématiques dériveraient déjà de l'expérience sensible, au moins par la médiation de l'intuition sensible. L'esprit, en cette affaire, ne ferait que rendre au réel son bien. Cette thèse possède des critiques notables (nous ne les développons ici) (Huet 1997). Les deux approches possèdent une part de vérité. Le tort d'Aristote est de croire que toutes les mathématiques sont simplement dérivées du réel. Le tort de Platon est de croire que toutes les mathématiques existent dans un univers autonome par rapport au réel. Ces critiques qu'elles aillent dans un sens ou bien dans l'autre reposent surtout sur le fait que le réel ne s'adapte pas toujours très bien aux structures mathématiques, et inversement.

idéalistes. D'après les réponses, les Indiens sont légèrement moins idéalistes qu'empiristes, et à peu près autant que les Français.

Qu'est ce qui motive une réponse plutôt qu'une autre ? Etudions les réponses apportées, dans leur détail.

Analyse des reponses des physiciens indiens

Les mathématiques sont un Outil

Un peu plus nombreux à opter pour une vue empiriste, les physiciens indiens qui conçoivent les mathématiques comme un outil ont différents arguments :

Les mathématiques sont un langage

Le théoricien I.U voit les maths comme un langage, issu de l'observation. « That is the reason why they look real. » Pour le physicien A.J également, : « it is a tool, a language. You have to accept what answer this language uses, you can not make your own sentences ». Pour L.T, les mathématiques sont bien un langage, qui nous permet de juger. Donc, si les mathématiques ont l'air si réelles, c'est parce que elles ont été conçues comme un langage devant se rapporter au réel. On comprend donc mieux le lien dont nous avons parlé plus haut entre mathématiques et sanskrit, et pourquoi ces deux disciplines sont enseignées conjointement.

Sont en lien avec la logique

Nous avons évoqué plus haut l'importance de la logique pour les traditions savantes indiennes. La physicienne L.K. conçoit les mathématiques comme un outil qui découle de la logique : " mathematics as such is set of tools purely follow from logic, then you make connections and those can be true or false".

Sont fondés sur la pensée

Cet outil est basé sur la pensée. L.H explique : "I'd like to put it as a tool which we have constructed. It all started will counting actually, when people wanted to count or think." "I believe that mathematics is a tool, you will certainly disagree. It uses human concept like counting and other processes" dit W.M. Et selon N.J, "It is a tool built by humans, because without a human thought, there is no mathematics". Comme l'explique aussi U.J, c'est l'esprit humain qui pense les maths car on peut imaginer des choses mathématiques qui n'existent pas. Pour eux, il n'y a pas de réalité platonicienne.

Réalité

Des réalités mathématiques existent dans la nature et même au delà

L'un des arguments évoqués pour soutenir l'existence indépendante des mathématiques est le même que celui qui vient d'être évoqué par N.J pour soutenir la posture inverse ! Que la pensée mathématique surpasse le réel. Ce recours à des arguments identiques pour soutenir des points de vue opposés est typique d'un themata. Ainsi le théoricien U.X estime que l'imagination mathématique peut dépasser le réel, par exemple les 12 dimensions, et que ce sont nos sens qui sont limités. Un autre théoricien, T.P dit : "the physical world is a representation of mathematics. This is the platonic view, yes ? » C'est en effet ce que l'on appelle le platonisme, ou l'idéalisme. Pour J.O également, "la nature est mathématique". Le physicien I.J estime quant à lui que "The use of mathematics reveals unsuspected connections in nature. Most of the laws of physics can be extracted from simple symmetry principles and

conservation laws. Thus the unreasonable “effectiveness” of mathematics in its application to physics is probably anchored in the fact that nature at its most basic level turns out to be that of a homogeneous space-time symmetric plasma with integrable dynamics that obeys various symmetry principles and conservation laws. The metastable, highly compressed homogeneous initial state of the universe that gave rise to inflation and the big bang may be the reason why such simplicity is inherent to basic physical phenomena”. Ainsi, c’est le caractère symétrique et simple de l’évolution de l’univers qui aurait engendré des lois symétriques et simples dans lesquelles sont sculptées les mathématiques. Les mathématiques sont à ce point transcendantes qu’elles induisent chez certains une sorte de peur et de sacralisation. C’est le cas de L.L. “I am afraid of mathematics. I think most of the physicists are afraid of maths. It is a kind of reverence, and fear”.

référence au langage

Pour la physicienne R.W, les mathématiques sont comme le Sanskrit qui est, trouve-t-elle, une langue très mathématique. Parmi ses trois sœurs, deux ont fait des études de mathématiques. Et sa mère enseignait le sanskrit. Les maths ont leur réalité propre, estime-t-elle et la nature peut être décrite par les mathématiques comme elle peut l’être par le langage. « Since my last year in college, I was not sure weather I will do math or physics. I decided physics, because maths didn’t describe nature. It can be on its own, it doesn’t need nature. It has its own structure, and some of them describe nature. It has its own language. I give you an exemple, complex numbers has been invented before being used by physics“.

Analyse des réponses des physiciens Français

Outil

On trouve le même type d’arguments chez les physiciens français avec quelques variations notables. Tout d’abord, le caractère mystérieux semble plus fort pour les physiciens français. Pour ceux qui conçoivent les mathématiques comme un outil, cela reste pour nombre d’entre eux, comme J.J « un des plus grands mystères ». P.Z pense qu’ « il y a des choses troublantes... De pouvoir se servir des géométries lobachevskiennes par exemple, alors qu’elles on été créés il y a 2 siècles, et qu’elles correspondent si bien à la réalité expérimentale, à 10-12 près... » J.I dit : « c’est un mystère que je traîne depuis que j’ai lu Einstein. A priori c’est une création humaine, mais je suis fasciné par correspondance, telles que celles des propriétés topologiques étudiées par Euler, et que j’ai utilisées en 2005 pour décrire un certain type de matériaux isolants ». Et pourtant, il reconnaît qu’il a « du mal à les penser comme pure création ». C’est typique des themata : la difficulté à adopter une vision du monde malgré tous les arguments existant.

référence au platonisme

On trouve des arguments similaires pour justifier l’invention des mathématiques par l’esprit. Il existerait des formes mathématiques qui n’existent pas dans la nature, donc elles ne seraient pas transcendantes. Pour P.X, par exemple, « des hommes ont pu penser les mathématiques non euclidiennes mais ce n’est pour autant qu’elles existent dans la nature ». Les physiciens français se réfèrent beaucoup au platonisme, plus que les Indiens. Ainsi U.Z se dit antiplatonicien : « Tout ce que l’on manipule est inventé par l’homme », dit-il. A.A. s’interroge « Suis-je platonicienne ou pas ? Les deux. Mais c’est certainement un outil ». Selon X.I, « il n’existe pas de monde des mathématiques, des idées de Platon ». Le physicien des particules F.I estime que c’est un outil, car tout est fabriqué : la réalité est ce que l’humain observe. « Les gens font cette erreur d’être platonicien, dit X.Z, car les mathématiques nous

permettent la généralisation dans un seul schéma formel. C'est ce qui définit l'objectivité. » P.Z pense que c'est l'homme qui construit les idées mathématiques. « Avec son cerveau, qui est déjà rempli de tout ce qu'un cerveau peut penser, donc elles sont déjà toutes là. » Pour lui, si les maths sont si universelles, si objectives, c'est qu'elles sont liées à notre manière de penser. Ces réponses sont proches de celles des physiciens indiens, même si elles n'utilisent pas le même vocabulaire. L'idée est de dire que les mathématiques sont un produit de l'esprit et que si elles semblent si proches du réel, c'est que c'est l'esprit qui perçoit le réel.

Réalité

Il y a parmi les physiciens français, comme parmi les Indiens de purs platoniciens. U.R dit que « C'est parce que le monde s'écrit comme ça qu'il est mathématique. Les maths sont inséparables de la matière elle-même ». Pour X.P, « les mathématiques sont un monde de formes dont l'organisation est indépendante de nous ». L'argument pour soutenir cette vision des choses est le même que pour les Indiens : « Est-ce qu'il y a une mathématique qui n'a jamais trouvé d'application en physique ? » Les extra-terrestres viennent aussi à la rescousse. Ainsi X.U estime que les mathématiques sont une réalité indépendante des hommes, car « un extra-terrestre ferait les mêmes mathématiques ». Pour le post-doctorant J.N aussi, « les extra-terrestres seraient d'accord sur ces maths, même si ils comptent sur seize doigts ». N.I estime également que des extra-terrestres aboutiraient aux mêmes maths ».

L'entre deux

Il y a des physiciens indiens et des physiciens français qui se positionnent de manière intermédiaire. Pour le physicien indien J.T, les mathématiques sont à la fois indépendantes et construites, de la même manière que la vérité est indépendante des individus particuliers sans pour autant être dépendante des humains. « Des maths inventés par n'importe quel individu sont les mêmes et sans doute par n'importe quel être vivant, ils n'existent pas pour autant de manière indépendante des esprits qui les conçoivent ». Pour le physicien français J.Y, il y a dans notre cerveau ou ailleurs une logique mathématique, elle est donc indépendante mais nous l'utilisons, donc, elle devient un outil. G.G. prend l'exemple des chiffres 1, 2, 3 qui sont une réalité transcendante indépendante des humains mais leur formalisme dépend des humains.

Biais lié à la discipline de recherche

Cette différence d'opinion pourrait être due purement à une différence entre théoriciens et expérimentateurs. L'un des physiciens, P.Q, lui-même expérimentateur en physique des particules, suppose que les théoriciens conçoivent davantage les mathématiques comme une réalité alors que les expérimentateurs les percevraient comme un outil. R.K. aussi est de cet avis. Ce n'est pas ce qui ressort de nos entretiens. Les théoriciens ne conçoivent pas tous les mathématiques comme une réalité, loin de là, et l'inverse n'est pas vrai pour les expérimentateurs. Plusieurs théoriciens répondent « outil », et inversement, plusieurs expérimentateurs répondent « réalité ». D'ailleurs, deux des expérimentatrices (N.T, N.X) sont issues de la même discipline et ont deux réponses opposées. Donc la discipline n'est apparemment pas un critère qui joue.

Biais lié à l'âge

En observant, comme pour chaque question, si un biais lié à l'âge des répondants apparaît, nous trouvons que les jeunes indiens répondent davantage que leurs aînés, que les

mathématiques ne sont pas une réalité transcendante. Ce n'est pas le cas en France, les réponses sont mieux réparties quelque soit l'âge. Nous analysons ce résultat dans l'annexe (p107) qui concerne l'évolution des jeunes physiciens indiens.

influence culturelle

Nous observons, grâce à l'analyse des réponses que les physiciens indiens entrevoient les mathématiques comme un langage. Nous avons souligné plus haut l'importance de la grammaire dans la construction des sciences en Inde et le rôle central du langage dans la vision du monde des traditions savantes indiennes. Nous retrouvons donc cette idée, à travers l'utilisation des mathématiques.

Et en France ? Dans l'enseignement, il existe une forte priorité donnée aux mathématiques en France. Ce n'est pas le cas en Allemagne ou au Royaume-Uni raconte un physicien français interrogé (J.X). « En France, dit un autre physicien (P.X), j'ai l'impression que les gens sont bloqués par les maths, beaucoup les craignent, sont rebutés par la science à cause des maths. Il y a une trop forte focalisation sur les maths. Même au niveau médiatique, les maths sont diabolisées, quand elles ne sont pas sacrées. » Est-ce que finalement, le lien de ces deux pays, l'Inde et la France, avec les mathématiques n'est pas similaire et assez spécifique, comparé aux autres pays ? Aurions-nous eu les mêmes réponses avec des physiciens anglais ou américains ? Le physicien J.X estime que les mathématiques « sont très théoriques en France. En Inde, c'est pareil, j'ai l'impression ». Il pourrait donc y avoir, une spécificité probable et partagée de l'Inde et de la France dans leur rapport et leur utilisation des mathématiques, par rapport à d'autres pays. Dans l'importance qu'ils accordent aux mathématiques, ces deux cultures se ressembleraient, ce qui expliquerait la similarité des réponses apportées à cette question, si partagées entre physiciens.

Principaux résultats

- Physiciens indiens et français paraissent très proches dans leur approche du lien entre mathématiques et réel, très divisés surtout.
- Quelques arguments différents : références au platonisme, aux extra-terrestres plus forts chez les physiciens français.
- Ce qui est notable chez les physiciens indiens, c'est leur référence au langage. Ils entrevoient bien plus les mathématiques comme un langage.
- Référence à Weinberg et sa déraisonnable efficacité des maths, par certains Indiens et Français. La culture scientifique semble commune !
- Biais culturel probable pour les Français et les Indiens sur le rôle important des mathématiques.

Discussion

L'Inde est une terre très féconde dans l'histoire des mathématiques, comme nous l'avons vu plus haut, avec l'invention du zéro, des chiffres « arabes », etc. L'importante tradition des mathématiques dans le pays repose-t-elle sur une approche particulière des mathématiques, que l'on peut retrouver chez les physiciens interrogés ? D'après le physicien K.M, il y a cinquante ans, à l'époque de son père et de son grand-père, les mathématiques étaient enseignées avec le sanskrit. Il s'agissait d'une même filière pour l'équivalent de leur bac. Les mathématiques étaient considérées comme une discipline littéraire. Pour lui, s'il y a beaucoup de mathématiciens en Inde, à cause de la tradition sanscrite, jointe à la tradition de logique, plus la sacralisation des mathématiques. Que veut-il dire par « sacralisation des mathématiques » ? Le physicien L.X développe : « les chiffres ont quand même un statut particulier en Inde, c'est quelque chose de culturel, on a une grande image des

mathématiciens anciens, on apprend à l'école Aryabatha, Bramaghupta, etc. Et puis il y aussi un usage développé de la numérogie. Et on a inventé les chiffres, le zero. Il y aussi une école médiévale de mathématiques au Kerala, qui a utilisé les équations différentielles, bien avant Leibniz, etc. L'esprit indien (*Indian mindset*) est orienté vers la sacralisation des chiffres : astrologie, numérogie, etc ». L.T estime qu'il existe une longue tradition de mathématiciens et qu'ils représentent un modèle à suivre. Mais pour lui, les mathématiques sont développées parce qu'il s'agit d'une connaissance accessible pour un pays peu développé économiquement. Elles garantissent un bon emploi, dans l'ingénierie ou le commerce, sans coût important pour leur enseignement. Pourtant, même si cet argument a du poids, on n'observe pas, dans les autres pays en développement, une telle importance accordée aux mathématiques. N'y a-t-il pas une autre raison ? L'Inde est considérée par de nombreux indianistes comme une culture idéaliste. Pour Masson par exemple (1925), l'idéalisme parcourt toutes les stratifications de la réflexion indienne, depuis les premiers âges». L'idée de l'Inde « idéaliste » a aussi été défendue par le spécialiste de l'Inde Max Muller entre autres. L'idéalisme se rapproche du platonisme, dans lequel le monde des idées -en particulier des idées mathématiques- existe indépendamment de l'esprit humain. Ce qui pourrait expliquer cette « sacralisation des mathématiques ». Mais, dans un entretien avec le philosophe Sundar Sarukkai, celui-ci explique qu'en Inde, les mathématiques ne sont pas traditionnellement et historiquement associées à une vue platonique, c'est plus un outil empirique. « In ancient traditions, mathematicians and philosophers were not dealing with each others. They were not really aware of their respectiv work. » Pour ce philosophe donc, les anciennes traditions de mathématiques étaient empiriques, plus qu'idéalistes. Donc, sur ce point, nous ne pouvons pas dégager de trait fort sur la pensée traditionnelle indienne.

Annexe 14. Disciplines et interdisciplinarité : le ressenti des physiciens indiens

Ce texte est issu d'une publication dans un ouvrage à paraître en 2016 intitulé « Reconfigurations du paysage disciplinaire des sciences ». Il reprend la question du cloisonnement disciplinaire que nous avons évoqué en corps de texte, mais avec une analyse plus poussée sur les spécificités du positionnement des physiciens indiens.

La recherche interdisciplinaire est une litanie de l'organisation scientifique, qui met au cœur de ses ambitions de permettre aux chercheurs de travailler sans cloisonnement, à travers des frontières disciplinaires (N.Metzger, R.N. Zare, 1999). Cette ambition est basée sur le constat que la plupart des problèmes fondamentaux de la recherche contemporaine enjambent les disciplines. Par ailleurs, l'articulation entre les disciplines a pour but de faire émerger de nouveaux domaines (Kleinpeter, 2013). Par exemple, l'astrophysique « n'est plus seulement une science née d'une union entre physique et astronomie d'observation, c'est aussi une science qui a fait émerger d'elle-même un schème cognitif cosmologique : celui-ci permet de relier entre elles des connaissances disciplinaires très diverses pour considérer notre univers et son histoire » (Morin, 2007, 25).

De nombreux travaux de recherche ont étudié la structure et la gestion des équipes de recherche interdisciplinaires, afin de suggérer des axes d'amélioration (Jeffrey 2003) ou bien afin de comprendre les nouveaux modes d'organisation au niveau des frontières disciplinaires (Cummings, Kiestler, 2005). Mais peu de travaux portent sur le ressenti par les scientifiques eux-mêmes de cette appel récurrent des gestionnaires de la recherche vers plus de collaboration entre disciplines différentes. Il manque d'études attachées spécifiquement à l'analyse de cet enjeu auprès de chercheurs-eux-mêmes. Ce genre d'études permet de savoir si, pour eux, le décroisonnement des disciplines est réellement effectif ou bien s'il ne reste qu'un vœu pieux. De plus, le décroisonnement des disciplines est-il vraiment souhaité par les scientifiques ? Il est particulièrement intéressant de s'intéresser au point de vue des scientifiques issus de pays en développement. En effet, la science moderne a pris naissance au sein de la culture européenne et de sa manière de classer le savoir en domaines disciplinaires universitaires. On peut donc se demander comment d'autres cultures s'accommodent du découpage des disciplines scientifiques ? Comme l'écrit C.Castoriadis, on « peut se demander si la distinction que nous faisons entre disciplines différentes a un sens pour des sociétés autres que la nôtre » (1978, 186). Par ailleurs, la question de l'interdisciplinarité est sans doute plus cruciale pour les pays en développement, car la pression sur les publications et la rentabilité y est moindre. En effet, la concurrence est plus faible aux frontières disciplinaires, et c'est souvent là où il y a plus de découvertes à faire. Pour ces pays, la recherche aux zones frontalières disciplinaires rassemble donc plus d'opportunités de publier dans des revues bien évaluées.

Nous nous sommes intéressés au ressenti par les scientifiques indiens de la classification du réel en disciplines. Nous basons cette recherche sur une série d'entretiens semi-directifs (35) menés auprès de physiciens Indiens travaillant en Inde ou en Europe, de 2013 à 2014. Nous avons interprété ces résultats à l'aide d'une analyse issue de l'histoire indienne et de la sociologie des sciences. Cette analyse permet de reposer la question de l'interdisciplinarité dans un monde où la recherche s'internationalise de plus en plus, avec des pays aux traditions diverses.

Place historique des disciplines dans la connaissance en Inde

Nous avons choisi de nous intéresser aux physiciens Indiens pour deux raisons. La première est que le savoir traditionnel est encore omniprésent dans l'éducation personnelle des jeunes Indiens, certains philosophes des sciences comme Nanda (2003), se demandent d'ailleurs si la persistance d'une forte culture traditionnelle en Inde est compatible avec le développement de la démarche scientifique.

La seconde raison qui nous porte sur l'Inde est que le pays est un leader en termes de publications d'articles scientifiques, parmi les pays en développement. Aujourd'hui, elle est classée au 24e rang de la Rand Corporation des 129 nations scientifiques. La barre historique de 1 % du ratio DIRD/PIB (dépenses de recherche et développement) a été franchie en 2004 faisant un jeu égal avec la Chine (2,3 pour la France). Le *New Scientist* (n° du 19 février 2005) a qualifié l'Inde de superpuissance émergente du savoir scientifique. Il semble donc que l'Inde ait adopté entièrement les cadres de la recherche scientifique internationale. Par ailleurs, la question de l'interdisciplinarité est un aspect important de la recherche scientifique pour le pays : d'après Prasad (2005), la recherche dans les zones frontalières permet aux scientifiques dans les instituts d'élite indiens de publier dans les revues de haut rang international. À certains égards, effectuer des recherches dans certaines zones frontalières de la science peut être plus facile en Inde qu'aux Etats-Unis, en Europe occidentale ou au Japon⁸⁶. Ces divers éléments font du cas de l'Inde une situation à première vue paradoxale.

Avant de s'intéresser aux discours des scientifiques indiens contemporains sur les disciplines, il est éclairant de dresser un rapide cadre historique et de l'enseignement disciplinaire en Inde. Les traditions savantes indiennes qui remontent à l'antiquité offrent un mode d'appréhension du réel réunissant les sphères de savoir par le biais de concepts hybrides. On retrouve par exemple la notion d'*Akasha* (le cinquième élément, assimilé à un potentiel d'espace) à la fois dans la médecine traditionnelle indienne (*Ayurveda*), les traités classificatoires de la matière et de l'espace (*Vaisesika*), ou de la philosophie spirituelle (*Upanishads*). La science⁸⁷ est traditionnellement certes divisé en *samhitā* : « collection » de savoirs, mais dans l'absolu, la réalité est unifiée, en particulier pour l'*Advaita Vedanta*⁸⁸, la principale tradition spirituelle hindoue.

L'Inde est passée très rapidement, sous l'influence de l'occupant anglais, à une science disciplinaire, sans passer par des étapes progressives. V.V.Krishna (2001) établit une mise en contexte historique de l'apparition des disciplines universitaires en Inde depuis la fin du XIX^{ème} siècle. Les Indiens ne sont pas passés par une rupture progressive avec l'approche holiste, comme ce fut le cas pour l'Europe à l'époque des Lumières. Au milieu du XIX^{ème} siècle, naissaient en Inde les trois premières universités reposant sur le modèle des universités européennes (1857 : Calcutta, Madras, Bombay). Ces universités répondent à un besoin volontaire du pays de développer ses technologies. Travaillant dans un système d'éducation et de valeur de plus en plus occidentalisé, beaucoup d'Indiens se trouvent éclatés entre leurs traditions et les nouvelles valeurs occidentales. Nandy (1995,78) montre qu'avant l'indépendance, les classes cultivées choisissent l'identification avec l'Occident quitte à renoncer à l'Indianité, tandis que d'autres font le choix d'une totale opposition envers les

⁸⁶ Il peut être utile de signaler que le schéma de financement de la recherche en Inde met comparativement moins de pression sur les chercheurs que celui actuellement en place en France, et leur laisse plus d'opportunités pour s'intéresser à des objets de recherche qui n'ont pas la garanti d'être féconds.

⁸⁷ On peut traduire « science » en sanskrit par *sāstra*, *vidyā*, *vijnāna*, le concept n'est pas unique et peut signifier compréhension, savoir, raisonnement, enseignement, texte sacré, etc.

⁸⁸ Même si la principale orientation de la pensée indienne a retenu un thème non dual, les expressions de ce thème ont parcouru toute la carte. Bouddha a enseigné la vacuité (*sūnyatā*), Sankara a enseigné "l'un sans second" (*ekamadvityam*), le Samkhya a exposé la réalité duelle, un jeu de Purusha (la conscience) avec Prakriti (la matière) et les tantras et les Puranas ont chanté la gloire de la pluaralité, le monde immanent. Toutes les options sont envisagées dans cette intégration.

valeurs occidentales. Beaucoup des scientifiques vivent à cette époque un conflit interne entre le vieux et le nouveau modèle. Après l'indépendance, l'Inde accorde une grande priorité à la science et à l'enseignement supérieur, tendance instituée par J. Nehru premier ministre de l'Inde. Le nombre d'universités augmente considérablement grâce au développement du nombre d'établissements privés. De nos jours, l'enseignement des sciences est basé sur une division entre disciplines : dès le « secondaire supérieur (classes 11 à 13), la science est introduite à travers des disciplines séparées » (Sharma, 2009). Dans les institutions de recherche, les différents secteurs sont bien délimités à travers les publications et les intitulés des départements et le nombre de sous-disciplines croît : les technologies de l'espace, les TIC, la biotechnologie, etc. Donc, tout comme en Europe, la science en Inde, est aujourd'hui appréhendée de manière très disciplinaire. Un élément particulièrement intéressant dans le cas de l'Inde, concerne le fait qu'on y retrouve une différenciation disciplinaire qui va jusqu'à une différenciation géographique et langagière. Ainsi, raconte un physicien d'un centre de recherche de Mumbaï, « La langue officielle en physique théorique à droite du couloir est le bengali, et à gauche, dans le département de maths, la langue officielle est celle du Tamil Nadu, le tamoul ». La Tamil Nadu est l'état d'origine du célèbre mathématicien Ramanujan. Le Bengali est la langue parlée à Calcutta, qui fut l'ancienne capitale de l'Inde Britannique (*British Raj*) jusqu'à 1912. La grande majorité des théoriciens en physique viennent du Bengale et plus précisément de Calcutta⁸⁹. La physique théorique est encore une matière privilégiée dans les études au Bengale, plus que les mathématiques (lesquels sont plus valorisées au Tamil Nadu) ou les autres disciplines scientifiques. Cela s'explique historiquement. Tous les prix Nobels de l'Inde viennent de Calcutta, ils y ont été professeurs ou en sont directement originaires. Cela s'explique par le rayonnement de l'université de Calcutta, et de sa plus ancienne antenne, le *Hindoo College*, établi en 1817, et devenu le *Presidency College of Bengal* en 1855. Il s'agit de la plus ancienne institution d'enseignement supérieur de type moderne – ou européen- en Asie. Il faudrait poursuivre davantage recherches pour comprendre cette spécificité disciplinaire pour la physique théorique à Calcutta. Quelques réponses sont apportées par les physiciens : « Dans ma famille et au Bengal en général, le savoir était plus important que le business. Beaucoup de physiciens viennent de Calcutta parce que c'est par tradition une ville de scientifiques renommés comme Bose, Raman, P.C Ray, depuis le début du XXème siècle. Ensuite, il faut voir que c'est une terre très fertile, la vallée du Gange, donc traditionnellement, la nourriture n'est pas un problème et on peut donc se consacrer au savoir spéculatif, comme en Inde du Sud, région aussi très fertiles et où l'on trouve beaucoup de mathématiciens très doués et où sont les grandes branches des computers sciences, les programmeurs, etc. Lorsqu'il y a eu la partition, les communistes sont venus et ont fermé toutes les usines, comme il y avait donc moins d'argent dans les familles, les enfants ont moins fait d'études d'avocat ou de médecine car elles étaient plus chères, et donc ont choisi une orientation scientifique. Ça aurait pu être les maths, mais la tradition de physiciens depuis Bose et Raman fait que c'est la physique qui est davantage enseignée, qui est plus importante. Et peut-être que dans le Sud, où il y a les mathématiciens, les gens sont plus intelligents. » On remarque au passage dans cette dernière phrase la connotation positive apportée aux mathématiques, signes d'intelligence. Ce qui dénote une gradation de la valeurs des disciplines, et nous verrons plus loin que cela corrobore le fait que la physique théorique, plus mathématique que la physique expérimentale,

⁸⁹ J.C. Bose, C.V. Raman, S.N. Bose et M.N. Saha font partie de l'école indienne de physique, née aux alentours des années vingt. Sous sa direction de Raman, la physique accède alors en Inde au rang de profession à part entière. Recensant les travaux de physique menés à Calcutta de 1907 à 1917, Raman lui-même observera : « Une véritable école de physique s'est constituée à Calcutta, qui n'a d'équivalent dans aucune autre université indienne et qui aujourd'hui encore ne supporte pas trop mal la comparaison avec celles des universités européennes et américaines » (iacs, 1976, p. 30). Vers 1918, la Société de physique de Calcutta est créée sous le patronage de l'Université de Calcutta. » cité par Krishna, V.V (2001)

est mieux connotée que cette dernière. Pour compléter cette observation de frontières langagières et géographiques envers des disciplines scientifiques, signalons que nous avons observé que la langue « officielle » dans les couloirs des départements de physique expérimentale était l'anglais et le hindi. Voici décrit brièvement le contexte de l'enseignement disciplinaire en physique en Inde. Il permettra de mieux saisir la portée de l'analyse que nous proposons maintenant.

La valeur de la science théorique et l'approche interdisciplinaire

A Mumbaï (Bombay), au Tata Institute of Fundamental Reserach (TIFR), un des centres de recherche les plus prestigieux du pays, se trouvent réunies des disciplines très variées, avec pour chacune un département, un site internet, un budget et un couloir séparé. Il existe donc une sorte de « géographie disciplinaire ». Cela va des sciences de la vie à l'astrophysique, en passant par toutes les disciplines de la chimie, de la physique et des mathématiques. Nous avons recueilli les ressentis au sujet du cloisonnement des disciplines. Nous avons aussi consulté des physiciens indiens d'autres laboratoires du pays, et aussi en poste ou en passage au Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN), ou en France. Il ressort que la majorité d'entre eux ne trouvent pas que les disciplines sont trop cloisonnées. Tel est le cas de ce théoricien des cordes : « ce n'est pas trop étroit, non, mais, bien sûr que c'est plutôt spécialisé. Mais c'est inévitable. Parce que même dans la théorie des cordes maintenant, on voit une explosion de choses à faire. Et puis, ce n'est pas tant cloisonné, je viens d'écrire un très bon article avec un astrophysicien, un autre avec un mathématicien. Il m'arrive de collaborer avec des thermiciens, des statisticiens, sur les trous noirs notamment, car la théorie des cordes s'applique aux trous noirs et est inexpliquée thermiquement et statistiquement. » Alors, qu'au vu de leur tradition de savoirs, on aurait pu s'attendre à ce que les Indiens critiquent le cloisonnement actuel des disciplines scientifiques, nous allons tenter de comprendre les raisons qui appuient leur discours.

Une des raisons qui explique le discours constatant que l'interdisciplinarité est assez développée, est que beaucoup des physiciens interrogés sont passés ou sont encore présents au TIFR, qui est centre de recherche très interdisciplinaire. Ce centre de recherche accueille l'élite de la recherche fondamentale en Inde. Il regroupe des départements de sciences de la vie, de chimie, de mathématiques, de physique théorique, de physique des hautes énergies, et d'autres branches de la physique. Des colloques interdisciplinaires ouverts à tous les départements sont proposés régulièrement. « Les colloques sont des sortes de séminaire que nous organisons ici, ouverts à toutes les disciplines. Donc, les gens qui présentent doivent prendre un soin particulier à ce que tout soit compréhensible », explique un chercheur qui travaille sur les modèles dans le département de physique des hautes énergies au TIFR. Ces colloques interdisciplinaires favorisent donc un rapprochement des disciplines. Mais cette raison n'est pas suffisante car l'impression des physiciens ne se limite pas à leur lieu de travail, le TIFR, ni à l'Inde : les chercheurs estiment ainsi que l'interdisciplinarité est bien présente dans le monde de la recherche et qu'il existe beaucoup de programmes de recherche destinés à réunir les disciplines. « De nos jours, elles fonctionnent davantage ensemble. Je veux dire, à mon avis, la recherche interdisciplinaire est devenue un grand objectif. Je veux dire, que ca va mieux » explique une physicienne de Bangalore renommée dans la discipline des hautes énergies. On remarque que pour ces deux personnes, l'interdisciplinarité est perçue comme positive. Une physicienne de Bombay confirme : « Il y a beaucoup de collaborations qui existent. Mais on n'en entend rarement parler, à moins d'être en charge d'un de ces programmes interdisciplinaires, parce que ce n'est pas tellement médiatisé ».

Une autre raison à l'origine de ce constat de non cloisonnement semble venir du fait que beaucoup des physiciens interrogés sont théoriciens. Or les théoriciens enjambent souvent plusieurs disciplines comme la matière condensée, la physique des particules, etc. Il existe par exemple au TIFR un département de physique théorique qui regroupe des champs variés de la physique (matière condensée, hautes énergies, cordes, etc). La vingtaine de physiciens du département travaillant sur des théories se réfèrent donc à différentes disciplines. C'est une situation assez classique pour un laboratoire d'accueillir un département généraliste de physique théorique. A l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon (France), un centre de recherche français basé sur Lyon, on trouve par exemple aussi un département de physique théorique où une vingtaine de physiciens chevauchent les frontières disciplinaires. Au CERN, il existe également un groupe restreint de théoriciens qui accompagne les différents projets. Mais ce qui différencie l'Inde de pays plus industrialisés, comme la France, c'est que, dans des départements a priori plus expérimentaux comme la physique des hautes énergies ou la physique de la matière condensée, on trouve beaucoup de théoriciens, ou de phénoménologistes. Les phénoménologistes sont à la jonction entre physique théorique et expérimentale. Ils tissent un lien entre les modèles mathématiques de physique théorique (comme la théorie quantique des champs ou de la structure de l'espace-temps) et la physique des particules expérimentale. Les phénoménologistes, représentants d'une discipline émergente de la physique, utilisent la puissance des ordinateurs et une connaissance globale de la discipline que ne peuvent avoir les théoriciens ou les expérimentateurs spécialisés dans leur domaine de recherches. Si la théorie et la phénoménologie tiennent une grande place dans les laboratoires de recherche en Inde, et les mathématiques, il reste à comprendre pourquoi.

La première raison est d'ordre pratique. Malgré son économie en plein essor, l'Inde ne consacre qu'environ 1% du PIB du pays dans la science et la technologie – une proportion qui n'a guère changé depuis les 10 dernières années. « Ce seul fait peut expliquer pourquoi l'Inde a toujours été beaucoup plus forte dans la science théorique que dans les sciences expérimentales ou appliquées. En effet, l'Inde a par exemple plus contribué à l'élaboration de la théorie des cordes au cours des 20 dernières années que le Japon ou tout autre pays européen. Par ailleurs, l'enseignement en Inde accorde une grande place à la programmation, explique un philosophe des sciences indien, ancien physicien, mais pas à la fabrication des ordinateurs. Si ce n'est pas toi qui fabrique un ordinateur, tu n'es pas en mesure de le réparer. Tu vas plutôt chercher à le protéger. En Inde, quand les premiers ordinateurs furent importés des Etats-Unis, nous n'avons pas cherché à les améliorer, à les réparer, la plupart retiraient leurs chaussures avant d'entrer dans une salle informatique, pour ne pas la polluer. Les ordinateurs étaient des objets précieux. On ne fabrique pas d'ordinateurs en Inde, on n'est pas habitués à faire des expériences. Les Indiens se sont spécialisés dans la programmation d'une part parce que c'est peu coûteux. On manque d'expérimentateurs physiciens ici en Inde, parce que l'on ne sait pas comment fabriquer ces machines. Il existe une longue tradition de sortie de la pauvreté par l'éducation. Nous sommes habitués à utiliser des livres. A les retenir. Mais pas à innover ». Ce discours est ancré dans une représentation faussée, puisque les travaux de Kapil Raj (2007) ont par exemple bien montré l'apport de l'Inde dans les innovations technologiques, un apport masqué par la colonisation.

Les personnes interrogées sont donc pour la plupart impliquées dans la théorie, ce qui explique sans doute la majorité de réponses allant dans le sens d'une absence de constat de cloisonnement. « Non, je pense que dans la science moderne, il existe beaucoup de travail à l'intersection des disciplines. Parce que, spécialement en physique théorique, je pense que, bien que l'on essaie de mettre cela dans des disciplines variées, je pense qu'on emprunte beaucoup les uns les autres, vous savez, de travail interdisciplinaire. J'étais, il y a quelques jours, le seul théoricien des cordes à parler dans un congrès et les autres ont beaucoup

apprécié mon intervention. Donc, je ne pense pas que les disciplines soient trop cloisonnées aujourd'hui. Je ne pense pas qu'il y ait de problème de ce côté. » explique un théoricien indien venu faire un post-doctorat en France.

Mais il existe aussi une raison qui a trait aux valeurs associées à la connaissance. Si les Indiens font principalement de la théorie, c'est également que celle-ci a plus de valeur à leurs yeux. Dans la tradition occidentale, largement influencée par les principes épistémologiques issus des Grecs, il existe une distinction claire entre le savoir « théorique » et le savoir « pratique ». Elle distingue la forme idéale de savoir (comme dans la logique formelle et mathématique) des formes empiriques de savoir (comme en sciences expérimentales). La capacité à enjamber des disciplines a été associée à l'importance de la théorie accordée à la pratique. On peut par exemple citer les positions de Duhem (1914) qui attribue principalement aux Anglo-Saxons des esprits pragmatiques, inaptes à l'interdisciplinarité mais expert en modèles issus des sciences expérimentales, tandis que les Français ont, d'après lui, davantage un esprit disposé à l'abstraction et à l'interdisciplinarité. Harwood (1993) retrace l'histoire des biologistes allemands *mandarins* plus théoriciens et plus interdisciplinaires, confrontés aux *outsiders*, plus pragmatiques et disciplinaires. La science expérimentale est donc davantage associée à un cloisonnement des disciplines, tandis que la théorie est plus volontiers interdisciplinaire, cherchant l'unicité du savoir. En Inde, le débat est aussi présent. Le philosophe des sciences, S. Sarukkai (2012) s'intéresse au rôle des classes sociales indiennes dans l'orientation théorique ou expérimentale. Il y a des raisons historiques, écrit-il, qui donnent un avantage structurel au niveau supérieur des *twice-born*, qui est la section de la haute classe de la hiérarchie sociale en Inde, dans le fait de consolider sa position privilégiée à faire de la théorie. Historiquement, les inégalités accumulées ont semblé renforcer la fermeture épistémologique des *Dalits* ou *Shudras* (caste des « serviteurs »). Ces derniers, selon le code de Manu, sont nés des jambes, et donc sont déficients en termes de capacité à penser. Le code de Manu refusa le droit aux *Dalits* et aux femmes d'accéder à une éducation formelle, qui est nécessaire pour atteindre la capacité à parler dans un langage abstrait et universel. Cette division, avec la sanction religieuse subséquente, a été naturalisée dans la conscience populaire. L'historien des sciences, Kapil Raj, raconte qu'en 1828, une collecte est organisée à Londres pour acheter un laboratoire (balances, acides, tubes, ...). pour l'*Hindu college*. Cet établissement pour garçons de haute caste est destiné à leur apprendre la science des colonisateurs qui commencent à s'installer en Inde. Le laboratoire doit servir à leur apprendre la science en la faisant. Ils mettent du temps à trouver le bon instructeur, qui sera finalement un professeur écossais. Mais une semaine après l'installation du laboratoire, les parents retirent leurs enfants du collège. Car ces manipulations leur apparaissent impropres aux hautes castes, « ce n'est pas de la science », disent-ils. Les travaux pratiques ne sont pas assez purs pour les brahmanes, qui priorisent idéalement la logique, des mathématiques, de la grammaire, mais pas des expériences pratiques... Ils ouvrent donc une deuxième école pour les castes inférieures où sera enseignée la médecine et la chimie. Cela n'a pas empêché nombre de brahmanes de faire de l'expérimentation, et notamment Raman, prix Nobel célèbre pour ses expériences de spectroscopie. Mais les valeurs attribuées au savoir théorique n'en restent pas moins bien marquées.

Nous avons pu montrer que la physique théorique allait plus facilement enjamber les disciplines, et nous avons cherché la raison de la prépondérance de la physique théorique en Inde, qui expliquerait une partie du ressenti de la présence d'interdisciplinarité dans la recherche actuelle. Nous allons voir maintenant qu'en ce qui concerne la physique expérimentale, les raisons de ce ressenti sont différentes.

Lorsque les chercheurs sont des expérimentateurs, ils sont souvent impliqués dans des recherches internationales comme les accélérateurs de particules, ou la construction de satellites, qui mettent en jeu des chercheurs de disciplines variées. Un physicien de Bombay raconte : « il existe une tendance marquée pour la collaboration interdisciplinaire aujourd'hui. Les disciplines doivent marcher ensemble plutôt que séparément. Par exemple, pour construire un satellite, on a besoin d'optique, de détecteurs, de physique nucléaire par exemple, de physique des solides, d'électronique, il faut que ces disciplines marchent ensemble ». Un discours similaire est tenu par une physicienne indienne du CERN : « Nous faisons de grandes expériences. Et je ne pourrai pas, par exemple, faire le travail d'un ingénieur. Au CERN, c'est très spécial. Donc, nous avons beaucoup d'échanges avec les autres disciplines. Nous avons besoin de spécialistes en chimie, qui peuvent s'occuper des fluides, de spécialistes en informatique, qui peuvent analyser les données, des ingénieurs en mécanique et en matériaux, pour nous dire quel type de matériau nous pouvons utiliser, etc. Non, il n'y a pas de compartimentalisation ici. Nous travaillons tous ensemble. Je pense que les frontières sont créées artificiellement dans notre système éducatif. »

Donc, deux raisons bien différentes permettent de justifier l'impression fréquente de mise en relation des disciplines. La première, pour les expérimentateurs, le fait que le pays travaille beaucoup sur des grands projets collaboratifs. La seconde pour les théoriciens, le fait que l'approche théorique enjambe plus largement les disciplines.

Un cloisonnement rassurant

Certains chercheurs, même si ce n'est pas la majorité, dressent le constat d'un cloisonnement des disciplines dans le monde de la recherche en général, et pas seulement en Inde. Or, dans ce cas, ce cloisonnement est rarement perçu comme négatif, il est généralement perçu comme nécessaire, inéluctable : il est impossible de relever de plusieurs disciplines tout en étant performant. « Dans les grandes études, par exemple, les gens parlent différent langage. Par exemple les gens de la matière condensée parlent souvent un langage fort différent du mien. Des mots similaires peuvent avoir une signification différente. Donc, si je veux changer, par exemple, mon étendue de champs de recherche, et travailler en physique de la matière condensée, ça me demandera un très gros travail, beaucoup d'effort, pour adopter ce nouveau langage », explique un phénoménologue de Mumbai. Dans les entretiens, on note très peu de jugements négatifs envers le cloisonnement. L'un des rares a été : « Les gens n'aiment pas penser à travers les frontières. Les gens n'aiment pas changer. Ils travaillent dans un champ spécifique. Ils veulent faire de petits progrès dans ce domaine, et ils veulent publier. Et puis, ils veulent aller bien dans leur vie. Ils n'aiment pas faire de ponts. Et si vous avez envie de faire de ponts, les gens de chaque côté du pont, ils ne vous aiment pas. Mais c'est devenu plus facile de publier sur des sujets interdisciplinaires ». D'où vient le sentiment positif envers le cloisonnement ? De ce qui est évoqué par ce physicien : le rejet du changement ? La volonté de faire carrière ? Un autre physicien explique que les Indiens ont besoin de classer, cela les rassure. C'est donc peut-être une des causes profondes de l'absence de remise en cause du cloisonnement des disciplines : la peur, le besoin de restreindre son champ de travail, sa vision. Dans l'histoire de la pensée indienne, on constate que la classification joue un rôle essentiel. Les classifications proposées par les écoles classiques du *Vaisesika*, du *Nyaya* ou du *Samkhya* en sont des exemples éloquentes. P.Descola (2005) classe l'Inde brahmanique dans la pensée analogique, qui est une pensée assoiffée de classification : « L'analogisme est un rêve herméneutique de complétude qui procède d'un constat d'insatisfaction : prenant acte de la segmentation générale des composantes du monde sur une échelle de petits écarts, il nourrit l'espoir de tisser ces éléments faiblement hétérogènes en une trame d'affinités et d'attraction signifiantes ayant toutes les apparences de la continuité. Mais

c'est bien la différence infiniment démultipliée qui est l'état ordinaire du monde, et la ressemblance le moyen espéré de le rendre intelligible et supportable" (p. 283). Le cloisonnement semble donc, dans les sociétés de tradition analogique, un moyen d'ordonner le monde et de se rassurer.

L'interprétation que nous venons de proposer, du besoin de classer pour donner de la stabilité au monde, peut se relier au constat que fait Prasad, après avoir étudié la collaboration entre laboratoires de recherche en Inde sur l'imagerie par résonance magnétique : un sentiment d'infériorité expliquerait la peur de se confronter à d'autres. C'est en effet un constat que nous pouvons aussi observer dans les discours de quelques chercheurs interrogés. « Ici en particulier, notre groupe, il y a beaucoup de divisions. C'est dû à un complexe d'infériorité. » Nous avons interrogé un physicien devenu un philosophe des sciences renommé, Sundar Sarukkai. D'après lui, « les Indiens ont perdu confiance en eux, partiellement parce qu'ils n'ont pas de modèles, dans leur propre histoire. Ils ne peuvent pas, comme en France, se référer à des mathématiciens prestigieux, à des philosophes. Du fait du colonialisme, ils n'ont plus de connections avec leur propre savoir ancien ». Le manque de confiance est sans doute lié au complexe d'infériorité évoqué dans certains entretiens. Les gens pensent, ok, si je t'envoie un sujet et que nous travaillons ensemble, cela veut dire que tu vas penser que tu es inférieur à moi. Mais si tu as confiance, alors il y a tellement de choses qu'on peut faire sur des problèmes communs. Et alors, la même chose peut être faite de bien meilleure manière ». Il semble que ce sentiment d'infériorité concerne spécifiquement les Indiens entre eux : « Nous sommes disposés à collaborer avec quelqu'un d'autre, n'importe où, quelqu'un en Allemagne, mais nous ne voulons pas collaborer avec d'autres physiciens en Inde ». Prasad (2005) montre qu'une culture de non-collaboration existe en Inde, quelque soient les disciplines et les institutions. « Presque tous les scientifiques et les représentants du gouvernement que j'ai interrogés ont convenu qu'il n'y a pas beaucoup de recherche collaborative en Inde » (Prasad, 2005). L'auteur montre comment, pour expliquer leur manque de collaboration, les scientifiques indiens citent très souvent des attributs cognitifs et comportementaux. Néanmoins, d'après lui, ce serait une erreur d'utiliser ces réactions pour faire valoir que les scientifiques indiens manquent de certaines «valeurs scientifiques», ou que les pratiques techno-scientifiques en Inde sont différentes en raison de certaines valeurs, comportements cognitifs persistants ou attributs de la culture indienne. D'après lui, l'habitude de non collaboration fonctionne en relation dialectique avec les réseaux nationaux de pouvoir et d'administration. "Nous ne pouvons que travailler dans une configuration féodale (les rois et leurs serviteurs). » explique un physicien dans un entretien réalisé par Prasad (2005). La culture scientifique indienne s'appuie sur une forme particulière de collaboration qui suit le modèle traditionnel indien de *guru-shishya paramparâ* (l'ancienne tradition de dissémination du savoir de succession de maître à disciple en Inde). Un autre scientifique explique: «Si vous voulez choisir un mot qui caractérise la plupart des scientifiques indiens, c'est le fait qu'ils ne sont pas sûrs d'eux." Le fait de rester dans une seule discipline bien délimitée permet de rester dans une forme de confort en évitant le risque d'incompétence. Dans nos propres entretiens, nous avons cependant remarqué que ce manque de confiance en soi – qui induirait un manque de collaboration interdisciplinaire – est beaucoup moins sensible chez les jeunes. Ceux-ci sont perçus par leurs aînés, et par leurs congénères, comme plus confiants, plus téméraires. Et, d'ailleurs, le constat du cloisonnement disciplinaire est globalement plus fort chez les jeunes interrogés. Il existe donc un lien entre l'ouverture vers la collaboration et le souhait d'interdisciplinarité.

Conclusion

Les physiciens indiens ne revendiquent majoritairement pas la nécessité de développer davantage l'interdisciplinarité. Ceci semble tenir à deux raisons. La première est que cette

l'interdisciplinarité est déjà bien développée, le travail interdisciplinaire existe notamment en physique théorique et dans le cadre de projets expérimentaux de large envergure, comme les accélérateurs de particules ou la réalisation de satellites. La seconde, et sans doute principale raison, est que le travail interdisciplinaire n'est pas tant souhaité car il n'est pas rassurant. D'une part, sur un plan épistémologique propre à l'Inde, le cloisonnement semble rassurant, et d'autre part, l'interdisciplinarité nécessite des habitudes collaboratives qui ne sont pas usuelles en Inde, notamment du fait d'un manque de confiance en soi des scientifiques. Ce sentiment a tendance à s'estomper avec la jeune génération, de même que le besoin d'interdisciplinarité est plus vif chez les jeunes doctorants. La recherche d'interdisciplinarité en Inde doit donc prendre en compte ces éléments inhérents à la structure même de la tradition scientifique dans le pays. Cette analyse sur les disciplines illustre la spécificité des facteurs culturels. Elle montre par ailleurs, que ce qui compte en Inde, n'est pas tant de favoriser la recherche interdisciplinaire, que de redonner confiance aux chercheurs, dans leur capacité à travailler ensemble, et cela semble devoir passer par une revalorisation de leur passé, une remise en lien avec leurs traditions savantes, comme l'explique le philosophe Sarukkai. Une analyse comparative avec les physiciens français est en cours et devrait permettre de mettre davantage en lumière les spécificités culturelles dans un contexte de science mondialisée.

Bibliographie

- Castoriadis C., *Les carrefours du labyrinthe*, Paris, Seuil, 1978
- Cummings J, Kiesler S, "Collaborative Research Across Disciplinary and Organizational Boundaries", *Social Studies of Science*, no 35, 703-722, October 2005
- Jeffrey P, "Smoothing the Waters, Observations on the Process of Cross-Disciplinary Research Collaboration", *Social Studies of Science* August 2003 vol. 33 no. 4 539-562
- Descola P., *Par delà nature et culture*, Gallimard, Paris, 2005
- Guru G., Sarukkai S., *The cracked mirror, An Indian Debate on Experience and Theory*, Oxford University press, New Delhi, 2012
- Kleinpeter E., « Taxinomie critique de l'interdisciplinarité », *Hermès*, CNRS Éditions, no 67, 123-129, 2013
- Krishna V.V, *La place de la science universitaire en Inde : réflexions sur une évolution*, *Revue internationale des sciences sociales*, 2001/2 (n° 168) Éditeur ERES, Page 251-26
- Lemay, Violaine, and Frédéric (eds.) Darbellay. *L'interdisciplinarité Racontée : Chercher Hors Frontières, Vivre L'interculturalité*, P. Lang, Berne, Berlin, Bruxelles, etc. 2014.
- Metzger N., Zare R.N., "Interdisciplinary Research: From Belief to Reality", *Science*, Vol. 283. no. 5402, 642 – 643, January 1999
- Morin E., *actes du Colloque de Cerisy* (Jean-Louis Le Moigne, Edgar Morin), Edition de l'Aube, Paris, 2007
- Nanda M., *Prophets facing backward: postmodern critiques of science and Hindu nationalism in India*, Rutgers University Press, New Brunswick, 2003
- Nandy A., *Alternative science, Creativity and Authenticity in Two Indian Scientists*, Oxford University Press, 1995
- Prasad A., "Scientific Culture in the "Other" Theater of "Modern Science": An Analysis of the Culture of Magnetic Resonance Imaging Research in India", *Social Studies of Science*, n° 35, vol. 3, 463–489, 2005
- Raj, K. *Relocating Modern Science : Circulation and the Construction of Knowledge in South Asia and Europe, 1650-1900*, Basingstoke & New York : Palgrave Macmillan, 2007

Sharma A.K., « Les évolutions de l'enseignement des sciences. L'expérience indienne », *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, n° 51, 103-113, 2009

Annexe 15. Face à face avec la symétrie : une comparaison entre physiciens indiens et français.

Ce texte est un article publié dans la revue *Implications philosophiques*, en novembre 2014. Il contient certains arguments et certains extraits de notre thèse, en particulier les parties concernant la symétrie. Ce texte va plus loin dans l'analyse, et propose des interprétations plus poussées sur l'attraction pour la symétrie en physique.

Résumé

Nous nous intéressons à la place de la symétrie dans la science à travers la question de son universalité. Pour cela, nous avons mené une série d'entretiens (70 en tout) semi-directifs avec des physiciens indiens et des physiciens français afin de déceler des éventuelles différences dans leur représentation du réel et de la science. Parmi les questions des entretiens, la symétrie avait une place de choix. Nous montrons les différences mais aussi les ressemblances entre les arguments des physiciens indiens et des physiciens français, concernant le rôle de la symétrie dans leur représentation du monde, et dans leur recherche. Nous proposons des pistes d'analyse pour expliquer le contexte culturel et historique, qui permet aux Indiens de mettre la symétrie au centre de leurs préoccupations. Nous émettrons aussi des hypothèses concernant le contexte culturel français. Au-delà de la question de la symétrie dans le cadre des sciences physiques, cet article est donc aussi une exploration de la non-symétrie culturelle, puisque nous mettons face à face des physiciens d'origines différentes, avec des particularités mais aussi des ressemblances. Si par « dissymétrie » nous nous permettons de signifier, non pas une absence totale de symétrie – qui serait alors une « asymétrie »- mais un manque de certains éléments de la symétrie, alors nous pouvons dire que nous avons mis à jour une dissymétrie culturelle dans le monde des physiciens.

Introduction

La science a été décrite comme une activité qui se démarque par des caractères spécifiques dont les plus partagés sont la rationalité et l'universalité : « L'activité scientifique vise à acquérir une connaissance fondée en raison, dont la portée soit universelle » (Coenen-Huther, 2002, p.221). Que la connaissance possède une portée universelle, cela semble un objectif louable. Mais peut-on penser que chaque humain - puisqu'il s'agit bien de ce groupe en guise d'universalité - appréhende une connaissance donnée de la même manière ? Pour tenter de répondre à cette question, nous nous sommes penchés sur la question de la symétrie, un principe dont la portée est a priori universelle, et à ses corollaires : dissymétrie et asymétrie. Ce texte s'intéresse donc à la place de la symétrie dans l'univers de la science à travers la question de son universalité.

Nous avons mené une série d'entretiens (70 en tout) semi-directifs avec des physiciens indiens et des physiciens français afin de déceler des éventuelles différences dans leur représentation du réel et de la science. Parmi les questions des entretiens, la symétrie avait une place de choix. Deux questions y faisaient référence, de manière directe, d'autres questions, de manière indirecte. Quelques différences notables sont apparues entre les groupes de physiciens français et indiens, à la fois qualitativement et quantitativement.

Nous allons développer cet article selon deux axes. Dans un premier temps, nous procéderons à une analyse des discours : quels sont les arguments des physiciens qui justifient leurs réponses à ces deux questions sur la place de la symétrie en science ? Nous montrerons les différences mais aussi les ressemblances entre les arguments des physiciens indiens et des physiciens français, concernant le rôle de la symétrie dans leur représentation du monde, et dans leur recherche. Dans un deuxième temps, nous proposerons des pistes d'analyse pour

expliquer le contexte culturel, historique, qui permet aux Indiens de mettre la symétrie au centre de leurs préoccupations. Nous émettrons aussi des hypothèses concernant le contexte culturel français. Enfin, nous concluons sur la portée de ces différences et de ces ressemblances.

Au delà de la question de la symétrie dans le contexte des sciences physiques, cet article est donc aussi une exploration de la dissymétrie culturelle, puisque nous mettons face à face des physiciens d'origines différentes, avec des particularités mais aussi des ressemblances.

I. Horizon de recherche

Peu d'études ont été faites dans l'analyse culturelle ou nationale des représentations de notions scientifiques, telles que la symétrie. Il faut déjà préciser ce que l'on entend par « culture » dans notre cadre d'analyse, car les notions d' « identité » et de « culture » recouvrent plusieurs acceptions épistémologiques. « L'identité est une donnée complexe à appréhender, en raison à la fois de sa transversalité disciplinaire et des rapports dialectiques qui fondent les réseaux conceptuels auxquels elle peut être associée » (Férreol, Jucquois, 2004, p.155). Nous adhérons à la définition de la culture comme « un ensemble de schèmes interprétatifs qui permettent à chacun, au sein de ce cadre spécifique, de produire et de percevoir les significations sociales de ses propres comportements et de ceux d'autrui. » (Clanet, 1990, p.15) Les références pouvant servir de garde-fou dans le domaine de l'analyse culturelle des représentations scientifiques sont rares. « Plus souvent en effet, on s'est attaché à saisir l'émergence du neuf à l'échelle de petits groupes et non le maintien d'une tradition – jamais parfaitement stable- au sein d'un groupe très stable- et par là-même différencié. » (Pestre, 1984, p.4) Une des rares références est Dominique Pestre, qui, dans son livre *Physique et physiciens en France* de 1984, analyse les « spécificités nationales » des physiciens Français de l'entre-deux guerres. Il ne s'est pas à proprement parler intéressé par les représentations des physiciens, mais par les démarches d'enseignement et de recherche. Son approche est cependant novatrice car il se place en retrait par rapport à Gaston Bachelard et plus globalement à l'épistémologie française de son époque, pour qui, faire l'histoire des sciences c'était se centrer sur le « surrationalisme » des savants. Pestre estime que l'histoire des sciences doit se préoccuper des aspects non-rationnels des scientifiques. Au début du XX^{ème} siècle, Duhem avait déjà tenté de déceler des différences sensibles entre les physiciens anglais et des Français puis des Allemands, dans *La théorie physique* (1906). Marie-Jo Nye a également décrit des spécificités françaises dans l'organisation de la recherche en physique en France à la fin du XIX^{ème} siècle (Nye 1986). Jean Gayon a dressé un remarquable état des lieux des travaux sur la catégorie en histoire des sciences où il montre que les travaux sur les spécificités nationales sont rares, intéressants mais aussi délicats. En effet, cela impose de ne pas basculer dans des généralités ni des considérations identitaires. C'est pourquoi, lorsque les historiens s'appliquent à établir l'existence d'un style national dans tel ou tel secteur de la science, il s'agit surtout « d'identifier les traditions institutionnelles qui expliquent la persistance de styles ou stéréotypes nationaux de comportement scientifique » (Gayon, 1996). Mais l'exemple de Dominique Pestre montre que l'enjeu est valable. Celui-ci se revendique proche d'Alexandre Koyré, de Thomas Kühn, de Paul Forman, dans le sens où il estime que « l'objet de l'histoire des sciences est avant tout de démêler, dans ce que la science dit, dans les formes concrètes des énoncés qu'elle profère, les formes différentes de rationalité qui sont à l'œuvre, les représentations culturelles plus vastes qui les sous-tendent (les substructures psychologiques dirait Koyré), de façon générale les déterminations socio-mentales extérieures qui les marquent » (Pestre, 1984, p.6).

Dans tous les cas, ce genre de travaux montre que la pratique scientifique ne peut négliger les caractères propres à chaque pays. Notre travail va dans le même sens puisque nous allons montrer que des différences apparaissent entre les représentations des physiciens français et indiens.

La question de la symétrie est, quant à elle, un important sujet de travaux en philosophie des sciences, encore ouvert. La question qui nous intéresse au sein de ces travaux est celle du rapport entre les structures de l'expérience humaine et celles des lois fondamentales de la nature. Un incontournable ouvrage dans ce domaine est celui du physicien Joe Rosen (2008). Il nous propose par exemple de concevoir que « toute symétrie requiert une asymétrie » (p.8). Car « la symétrie requiert un cadre de référence, lequel est nécessairement asymétrique. L'absence d'un cadre de référence implique l'identité, et donc, l'impossibilité d'un changement, et donc l'inapplicabilité du concept de symétrie. » Rosen montre que la symétrie n'est possible qu'en fonction d'un environnement, d'un contexte. (Rosen, 2008, 9)⁹⁰.

Il est indiscutable que la physique a appuyé sa recherche des structures profondes du réel par la voie de la symétrie, mais elle l'a fait aussi à l'aide des brisures de symétrie. C'est une ambivalence qui montre que le langage est un façonnement de représentations, pour approcher le réel. La question de la symétrie reflète ainsi le façonnement mathématico- expérimental de notre appréhension du monde.

Soulignons enfin un travail notable sur la chiralité en anthropologie des sciences, mené par Arpita Roy, auprès des physiciens du CERN. En logeant au sein de la communauté de ces physiciens des particules, elle a observé comment les conceptions courantes de la matière, de l'énergie et de la lumière, découlent d'hypothèses sur la façon dont fonctionne l'univers. L'asymétrie de la latéralité lui a fourni un terrain étonnamment fertile pour interroger la prétention de la science sur le gouffre existant entre la pensée et la chose, le symbole et la réalité⁹¹ (Roy, 2011). Malheureusement, ce remarquable travail ne s'intéresse pas aux spécificités culturelles de ces physiciens du CERN venant pourtant d'une grande diversité de pays. C'est donc au croisement de ces différentes démarches, dans un espace assez peu peuplé que se situe notre travail.

II. Recueil de données

La manière dont nous avons mené nos entretiens et sélectionné les physiciens est la suivante. Les entretiens auprès des physiciens indiens ont été menés en 2013 et 2014 au CERN à Genève, ainsi qu'en Inde, à Mumbai et à Pune. Quelques entretiens ont été menés en France

⁹⁰ Rosen s'appuie sur un exemple : « Considérons par exemple un triangle équilatéral. Son apparence est immune d'une rotation par 120°C à partir de son centre dans son plan. Mais quel est ce changement que nous appelons « rotation par 120° » ? Faites ce que vous voulez au triangle, pivotez-le, étirez-le, tordez-le, le concept de rotation est inapproprié à moins que nous ayons un cadre de référence qui puissent révéler les changements. La situation totale, celle du triangle équilatéral couplée avec son environnement, possède par contre des aspects qui ne sont pas indemnes sous une rotation de 120°. Les murs de la pièce, par exemple, pourraient servir du cadre de référence, puisqu'ils sont asymétriques sous 120° de rotation. Ainsi, le triangle équilatéral est symétrique dans le contexte de son environnement. »

Texte original en anglais : "A way of expressing the relation between symmetry and asymmetry is this : "symmetry requires a reference frame, which is necessarily asymmetric. The absence of a reference frame implies identity, hence no possibility of change, and hence the inapplicability of the concept of symmetry. Consider, for example, a equilateral triangle. Its appearance is an aspect of it that is immune to 120° rotation about its center in its plane, so it possesses symmetry under 120 ° rotations with respect to appearance. Or so we might blithely think. But what is this change we call "120° rotation" ? Do what we will to the triangle –twist it, twirl it, twitch it, swivel it, when it rotated by 120, or rotated at all for that matter ? [...]The *total* situation that of the equilateral triangle together with its environment does possess aspects that are not immune to 120° rotation and that can thereby serve as a reference frame for 120° rotation. The walls of the room, for instance, could serve as reference frame, since they are asymmetric under 120° rotation. Thus, rotation by 120° is indeed a change. The equilateral triangle is symmetric in the context of its environment. It is symmetric under 120° rotation thanks to its environment's lack of immunity to 120° rotation, thanks to the asymmetry of the total situation – triangle plus environment – under the rotation.» (Rosen, 2008, 9)

⁹¹ « Ainsi, les lois de la physique traitent différemment les objets de latéralité asymétrique contraire : une différence (chiralité), initialement formulée dans la théorie, est transformée en une asymétrie observée expérimentalement (violation de la parité). Pour les particules sans masse, hélicité et chiralité sont définis comme étant intrinsèque, alors que pour les particules de masse, l'hélicité est un attribut relationnel. Ce mouvement est lui-même autorisé lorsque les aspects relationnels sont traités comme «relativistes», en impliquant la présence d'un observateur ou d'un cadre de référence, ce qui du point de vue de la physique moderne pourrait être isolé comme un ensemble de règles et d'horloges » (Roy, 2011, p.74) traduction personnelle de l'anglais vers le français.

auprès de physiciens indiens en poste dans des laboratoires français. Les entretiens avec les physiciens français ont été menés dans différents laboratoires en région Rhône-Alpes et en région parisienne. Notre sélection s'est faite sur des critères de diversité des disciplines (physique théorique, physique expérimentale notamment), sur la diversité des classes d'âge et de genre. Nous avons cherché au plus près à retrouver la même diversité dans les deux échantillons. Nous ne revendiquons pas la représentativité de notre échantillon. Nous avons cependant pu remarquer que les caractères d'âge, de genre ou de discipline scientifique influaient très peu sur la réponse apportée à ces deux questions. Par ailleurs, l'ampleur de la différence entre Indiens et Français sur ces deux questions est telle qu'une influence culturelle est difficilement écartable. Nous avons aussi remarqué des ressemblances, et elles constituent également un objet d'analyse.

Les deux questions directes posées relativement à la symétrie sont :

- « Quel est, pour vous, l'aspect le plus important pour une théorie ? Autrement dit, parmi plusieurs théories proposant une description d'un ensemble de phénomènes, quels sont les aspects qui donneraient votre faveur à l'une d'elles ? »

Plusieurs aspects étaient suggérés, mais la question restait ouverte : beauté, simplicité, symétrie, compatibilité avec les faits expérimentaux,...

La symétrie apparût comme le premier critère pour 27% des chercheurs indiens, contre 8% pour les Français (cf. tableau 1). Il n'était pas donné de définition spécifique pour le mot « symétrie », ni pour les autres propositions (beauté, simplicité, etc.), permettant ainsi aux chercheurs de dévoiler le sens qu'ils lui attribuent.

- « Êtes-vous d'accord avec la proposition d'Heisenberg de remplacer le concept de particule fondamentale par celui de symétrie fondamentale ? »

La réponse fût positive pour 65% des chercheurs indiens, contre 35% pour les chercheurs français. Donc, une majorité d'Indiens se déclarait en accord avec cette proposition d'Heisenberg, alors qu'il s'agissait d'une minorité dans le cas des physiciens français (proportion inverse).

Rappelons qu'Heisenberg un physicien incontournable du XX^{ème} siècle qui a reçu le prix Nobel en 1932. Sa physique possède une dimension philosophique, notamment platonicienne. Comme l'explique Malcolm Longair, « au cœur de l'approche d'Heisenberg se trouvait le rôle joué par le comportement non commutatif des variables quantiques et la quantification du moment des variables spatiales. Pour s'en accommoder, un nouveau calcul mathématique a été inventé à partir du constat que les matrices suivaient précisément les règles algébriques correctes »⁹²(Longair, 2013, p. 278). Dans son autobiographie (1971), Heisenberg revendique une posture impopulaire de critique de la recherche en physique des particules et propose que la symétrie, et non pas les particules élémentaires, soit le point de départ d'une description du monde.

⁹² "At the heart of Heisenberg's approach was the fundamental role played by the non-commutative behaviour of the quantum variables and the quantization of both the momentum and spatial variables. To accommodate the features, a new mathematical calculus had been invented from the realization that matrices followed precisely the correct algebraic rules."

| Pourcentage de réponses | de Symétrie comme critère le plus important pour une théorie physique ? | D'accord avec la proposition d'Heisenberg de remplacer le concept de particule fondamentale par celui de symétrie fondamentale ? | |
|-------------------------|---|--|-----|
| | | Oui | Non |
| Physiciens indiens | 27% | 66% | 34% |
| Physiciens français | 8% | 35% | 65% |

Tableau 14 : Pourcentage des réponses issues des entretiens (35 physiciens français, 35 physiciens indiens). Ce qui ressort des chiffres du tableau est que le concept de symétrie est bien plus important pour les physiciens indiens que pour les physiciens français. En effet, les physiciens indiens le jugent davantage nécessaire à la validité d'une théorie ; et davantage de physiciens indiens sont d'accord avec la proposition d'Heisenberg de remplacer le concept de particule fondamentale par celui de symétrie fondamentale.

III. Analyse des discours

III. A. Discours des physiciens indiens

III. A. 1. Les théories modernes en physique font appel au concept de symétrie

L'un des arguments au sujet de l'importance du concept de symétrie mis en avant par les physiciens indiens est sa présence essentielle dans les nouvelles théories de la physique moderne. Un théoricien spécialisé en gravité quantique de l'Inter-University Center for Astronomy and Astrophysics (IUCAA), à Pune, explique que « la particule n'est plus un concept fondamental tel qu'il a pu l'être à l'époque d'Heisenberg. Aujourd'hui, nous avons des concepts plus basiques, appelés les cordes qui sont, bien-sûrs, dirigés par la symétrie. Donc, Heisenberg avait raison de dire que c'est la symétrie qui conduirait à une meilleure compréhension de la nature de la matière. »⁹³

Une expérimentatrice en physique nucléaire du TIFR indique : « Je suis d'accord avec Heisenberg parce que je sais que le comportement des particules peut seulement être décrit par la mécanique quantique qui est basée sur la symétrie. »⁹⁴ Une expérimentatrice d'un tout autre domaine, la physique des hautes énergies, indique que son domaine de recherche est basé sur l'idée de symétrie. « Dès que vous trouvez une symétrie, les choses sont plus simples. Je ne sais pas exactement ce que serait le remplacement du concept de particule fondamentale par celui de symétrie, il est possible que nous apprenions à partir des symétries fondamentales telles que nous l'espérons dans les dix prochaines années, avec les nouvelles avancées de la super-symétrie. Il s'agit d'une symétrie additionnelle. D'autres symétries doivent se trouver là. »⁹⁵ Pour un éminent théoricien du TIFR, la symétrie est le principe qui le guide le plus dans ses recherches parce que, pour lui, « les lois les plus fondamentales de la physique, les lois de conservation, sont une propriété émergente de la symétrie ». Ce premier argument est donc fondé sur l'usage courant des symétries dans les théories modernes de la physique.

III. A. 2. La symétrie est dans la nature

Un autre argument est basé sur la conviction que la nature est symétrique. Un physicien indien de la matière condensée est à ce point persuadé que « la symétrie est dans la nature », qu'il présume que l'ensemble des physiciens est de cet avis. « Il existe une forme d'ordre

⁹³ « Well, yes, particle is no longer a fundamental concept as it was in Heisenberg's time. Today we have more basic concept called string which is of course driven by symmetry and so Heisenberg was right that it is the symmetry that has led to deeper understanding in the nature of matter. »

⁹⁴ V.N. 4.17 "Yes I agree with Heisenberg I know the behavior of particles can only be described through quantum mechanics which is based on symmetry."

⁹⁵ K.M. 25 High energy physics is based on the idea of symmetry. Once you found a symmetry, things are more simple.

33.4. Yes, I would say because symmetry we see that it really plays a very important role in many aspect. I don't really know exactly what will be the replacement of fundamental particle by fundamental symmetry, but it is possible that we learn from fundamental symmetry like we are hopping in next 10 years new from super-symmetry. It is additional symmetry. Some other symmetry may be there.

mathématique, de symétrie partout », dit-il. « Pourquoi sommes-nous tous symétriques ? ». Cet argument est repris par trois jeunes post-doctorants indiens en physique des hautes énergies au TIFR : « De toute façon, la symétrie est dans la nature. » conviennent-t-ils. L'aspect le plus important d'une théorie, explique une physicienne, est la symétrie parce que « la plupart des choses sont symétriques dans le monde ». Alors, si la symétrie est partout, comment réagissent ces chercheurs face à des asymétries manifestes, telles que l'écoulement du temps ou les phénomènes chaotiques ? Le temps est censé être symétrique en physique quantique. Mais pas en thermodynamique. « C'est troublant que le temps ne soit pas symétrique » s'interroge l'un d'eux. Certains vont alors estimer que le temps est symétrique dans certaines théories : « La flèche du temps est une propriété émergente dépendante de l'échelle et de la théorie utilisée : la thermodynamique, par exemple ou la cosmologie, n'utilisent pas la même flèche du temps. »⁹⁶. Certains estiment que l'asymétrie révèle une symétrie « intérieure ». « Une belle équation est comme une musique : elle possède une symétrie intérieure. Elle assemble des différences, comme un puzzle. » estime un chercheur en physique statistique de la matière condensée. Une physicienne estime qu'au fond, « même quand il existe des brisures de symétries, originellement, il y avait une symétrie. »⁹⁷ Une réponse face à l'absence de symétrie de la flèche du temps ou de phénomènes chaotiques – est que ces phénomènes répondent toutefois à un ordre, à un équilibre. Même les événements chaotiques peuvent correspondre à un ordre, à un équilibre, comme le témoigne un physicien théoricien. En fait cette question de la symétrie semble liée dans l'esprit d'un grand nombre de physiciens indiens à la beauté. « J'aime l'art, j'aime la symétrie mais pas trop, sinon c'est ennuyeux. Quand vous allez à un musée, et que vous voyez une chose complètement symétrique, cela garde votre attention un moment, mais... »⁹⁸ fait remarquer un autre. « La beauté c'est la symétrie, ou une asymétrie : une symétrie brisée de manière harmonieuse ». Il nous a donc semblé qu'il pouvait y avoir une relation entre cette question de la symétrie, et une question posée aussi lors des entretiens, à savoir : « La nature ou la réalité vous paraît-elle ordonnée ou chaotique » ? En croisant les réponses, il apparaît qu'en majorité, ceux qui sont d'accord avec l'importance de la symétrie sont les mêmes que ceux qui perçoivent la nature ordonnée.

III. A. 3. La symétrie renvoie à l'ordre dans la nature

| Pourcentage de réponses | Nature ordonnée | Nature chaotique | Les deux |
|-------------------------|-----------------|------------------|----------|
| Inde | 0,57 | 0,13 | 0,30 |
| France | 0,44 | 0,21 | 0,35 |

Tableau 15 : Pourcentage de réponses apportées à la question : « La nature vous paraît-elle ordonnée ou chaotique » ?

Même si les réponses entre chercheurs indiens et français ne sont pas autant opposés que dans les deux questions sur la symétrie, une différence forte apparaît quand même, puisque 57% des Indiens trouvent la nature ordonnée, tandis que 44% des Français sont de cet avis. Il nous a semblé intéressant de vérifier si ceux qui répondaient sans hésiter « ordonné » étaient les mêmes que ceux qui accordaient de l'importance à la symétrie. Il s'avère qu'il existe

⁹⁶ "Arrow of time is an emergent property depending on the scale/theory, physical law for exemple thermodynamics, or cosmological, give different arrow of time."

⁹⁷ because most of things are symmetric in the world and even when there are some cracks, then originally there is symmetry.

⁹⁸ "I love arts so I love symmetry but not too much, otherwise it is boring. When you go to museum and you see a completely symmetrical things, it keeps your attention for a while, but. ..."

manifestement un lien entre répondre « ordonné » et répondre positivement à l'importance de la symétrie. Ainsi, 81% des Français qui répondent que la nature est ordonnée accordent une importance à la symétrie et c'est aussi vrai pour 85% des Indiens. Donc, il existe un lien fort entre l'importance accordée à la symétrie dans les théories physiques, ainsi que dans le choix de représentation, et la perception que la nature/réalité est ordonnée.

“Pour moi, le chaos est équilibré. Dans le sens où le chaos est aussi une loi de la nature. Je crois qu'il y a de l'harmonie dans la nature »⁹⁹ révèle un physicien indien. Un autre explique : « La nature est certes parfois chaotique, mais le chaos est aussi une forme d'ordre. » D'autres encore : « Je crois qu'il y a un ordre caché auquel nous devons nous adapter », “Je suis fasciné par les structures que développe la nature”¹⁰⁰.

Même si la majorité des physiciens indiens conçoit la réalité comme étant ordonnée, il en reste qui laissent une place au chaos (ceux qui sont dans la case « les deux »). Dans ce cas, l'ordre apparaît comme un phénomène émergent du désordre. « La nature est chaotique, l'ordre est un phénomène émergent » explique un physicien indien. Pour un autre : « Si vous regardez les choses, vous voyez de l'ordre. Par exemple, dans une table, les électrons sont chaotiques. Du dehors, vous voyez une apparence d'ordre »¹⁰¹. Un physicien a fait une conférence grand public sur la symétrie en physique et y explique que la causalité est le principe sous-jacent des idéalizations scientifiques¹⁰² : « Je dois vous révéler ma philosophie : j'ai le sentiment que l'esprit humain est séparé entre l'analyse probabiliste du chaos, et l'ordre causal du monde ».

Ce que nous pouvons conclure des discours des physiciens indiens au sujet de l'idée de symétrie, c'est que le monde leur paraît majoritairement symétrique, même quand il prend des apparences de dissymétrie, comme avec la flèche du temps. Et l'idée d'une nature ordonnée n'est pas indépendante de cette importance accordée à la symétrie.

III. A. 4. Jongler avec la symétrie et la particule, selon l'échelle d'observation

Concernant la proposition d'Heisenberg, certains physiciens indiens optent pour la symétrie au détriment de la particule parce que, d'après eux, la particule fondamentale n'existe pas. L'histoire de la physique leur a montré que lorsque l'on trouvait une particule que l'on croyait fondamentale, on se rendait compte qu'elle était elle-même composite. Les candidats les plus récents au titre de “particules fondamentales” sont les “quarks” constituants des hadrons, qui n'ont pourtant pas été observés en tant que tels. Un physicien théoricien du TIFR raconte : « Geoffroy Chew, avec sa théorie du Bootstrap¹⁰³ dans les années 70, a repris l'idée d'Heisenberg d'abandonner l'idée de particule élémentaire. Il ouvrait les portes de ce qui était connu en philosophie orientale, à savoir qu'il n'y a rien de fondamental. A son époque, les chercheurs commençaient à faire des expériences avec des particules en percutant par exemple des protons ensemble, et observaient des phénomènes de dispersion. De quoi s'agissait-il ? De protons, de neutrons ? Ils parlaient de hadrons, parce qu'ils ne comprenaient pas ce à quoi ils avaient à faire. Les hadrons donnaient naissance à quelque chose d'autre.

⁹⁹ « For me, chaos is balanced. In the sense that nature is dictated by law of nature, chaos is also law of nature. I don't believe in laws, I think there is harmony in nature”.

¹⁰⁰ “I am amazed by the structures that are developed by nature. It looks like there is lot of order, even the chaotic behavior is probably intended for a certain purpose.”

¹⁰¹ “If you look at things you see there is order. for exemple in a table electrons are chaotic, from outside you give this property of a table. It is an emergent phenomenon.”

¹⁰² Scientific Idealizations: Psychology and Metaphysics ASET Colloquium, TIFR, February 8, 2008

¹⁰³ Selon la théorie bootstrap, en effet, la nature ne peut pas être réduite à des entités fondamentales, mais doit être envisagée de manière complémentaire. C'est-à-dire en termes de relations communes.

L'idée de particule élémentaire s'envola. Je pense que cela a des implications philosophiques profondes. Ce que l'histoire du modèle standard a montré c'est que nous ne sommes probablement pas prêts à faire de la physique à ce niveau de complexité parce que nous pensons encore de manière très étroite »¹⁰⁴.

Un certain nombre de physiciens optent pour l'utilisation des deux concepts, la symétrie et la particule, en fonction du niveau auquel on se situe. Il s'agit d'une forme de relativisme. Un cosmologiste estime que « Beaucoup de choses fonctionnent bien avec le concept de particule fondamentale, mais lorsque vous allez à un niveau très profond, alors l'idée de symétrie devient importante, nous essayons de considérer des dispositifs pour comprendre les aspects multidimensionnels d'un problème. Donc, je ne vois pas pourquoi il faudrait choisir une chose au détriment d'une autre. A un certain niveau, quand ça devient complexe et multidimensionnel, alors les mathématiciens arrivent, et ils apportent cette notion de super-symétrie, et je crois que cela aide à résoudre les équations. En vous-même, qu'essayez vous de comprendre ? Si vous êtes heureux en essayant d'expliquer quelque chose. Par exemple, vous utilisez une pile à électrolyse. Et si vous voulez utiliser le soleil, vous êtes face à un problème différent, n'est-ce pas ? Alors, vous devez inventer de nouveaux outils, de nouvelles notions »¹⁰⁵.

L'idée est de prendre ce qui fonctionne, en fonction du contexte et des besoins. Ainsi, un astrophysicien du TIFR explique simplement qu'il a pu constater qu'utiliser la symétrie fonctionnait dans ses recherches. Et il la considérera comme un élément important tant que ça continuera à fonctionner. Les comportements et les lois de la matière sont très différents à basse ou à haute énergie. « Nous pouvons utiliser les deux concepts, explique un autre théoricien en physique de la superconductivité : symétrie et particule. Je suppose qu'Heisenberg parlait du modèle standard. Donc, oui, la symétrie semble importante. Pour nous aussi, la symétrie est un aspect important. Nous l'utilisons sans arrêt, pour construire des modèles de réseau cristallin. Pas toujours, il arrive que ce ne soit pas symétrique. »¹⁰⁶ Une éminente physicienne de Bangalore en physique des particules, estime qu'elle pourrait être d'accord avec le fait de remplacer le concept de particule fondamentale par celui de symétrie fondamentale mais pas pour toutes les particules, seulement pour les particules reliées à des forces ». Il s'agit donc d'utiliser les concepts de manière contextuelle. Ce qu'exprime ce physicien indien : « On n'est pas obligé de se passer du modèle des particules pour avoir de la symétrie. Ils ne sont pas reliés à la même chose. C'est une question de point de vue tout cela »¹⁰⁷.

¹⁰⁴ "Geoffray Chew (bootstrap theory) took former Heisenberg's idea that we should give up the idea of elementary particle. He was bringing heavy doors of what is known as eastern philosophy to say basically there is nothing fundamental. What was happening at that time people beginning to do experiments with particles they hit protons together scattering experiments. G Chew was saying more fundamentally is it a proton, is it a byon is it a neutron ? Because they did not understand They were talking of hadrons. Each hadron was giving rise to something else. The idea of elementary particle went away. I think It has profound philosophical applications. What the history standard model has shown we are probably not ready to do physics for that level of complexity because we are still thinking very narrow."

¹⁰⁵ "Lot of things work quite well when you mean fundamental particle, but when you go down to very deep level, then the ideas of symmetry and all, we try to consider mathematical devices to understand multidimensional aspect of a problem, then you need that, ok. So I don't know why you have to choose one thing or the other. Because at some level, everything you do everything you need you think you really understand what particle is. But when you go down, to understand super-symmetry and all that you know at the quark level and other things, when it becomes complex and multidimensional, then mathematician come in, and they bring this notion of super-symmetry and I think it helps to solve equations.

In your self what are you trying to understand ? If you are happy with explaining something. For exemple, you use a battery, the power for electrolyze and atoms, you design a new battery with students, and then you go to sun and then you have a different problem right ? So then you have to invent new tools, new notions. So I think you have bring new things, to break, to understand and explain."

¹⁰⁶ We can use both concepts : symmetry and particle. I guess Heisenberg was talking about the standard model. So yes symmetry seems important. And for us, two, symmetry is an important aspect. We use it always, to construct lattice models, not always, sometimes it is not symmetric.

¹⁰⁷ They are not in contradiction with each other, you don't have to choose one. It is a view point.

L'un des chercheurs interrogés, théoricien de la supergravité, celui qui a fait un exposé grand public sur le concept de symétrie en physique estime que la symétrie permet de déduire un tout d'une partie, elle rend possible l'atomisme, le réductionnisme. C'est donc un outil essentiel des sciences. Elle permet de rendre les lois de la physique possibles : « un atome d'hydrogène à Mumbai est le même qu'à Paris ».

Et pourtant, dit-il lors de l'entretien, c'est dépassé, qui sait, la théorie fondamentale n'est peut-être pas particulièrement symétrique ? La symétrie existe dans le monde quotidien à notre niveau. Mais au-delà ? »¹⁰⁸.

Le choix du concept est donc adapté au contexte et au niveau d'échelle que l'on étudie. Il n'y a donc pas de concept absolu de prédilection. Un physicien des particules estime ainsi que « ce n'est pas parce que c'est un concept mental que ce n'est pas une réalité. Il ne s'agit pas de basculer dans l'extrême inverse non plus. Il y a équilibre entre les deux versants, il existe une dualité. On peut opter pour vision duelle, particulière et mathématique, symétrique »¹⁰⁹.

III. A. 5. Manque de confiance : je dis « oui » car je ne sais pas

Il ne faut pas écarter l'hypothèse qu'une partie des physiciens indiens acquiescent à la proposition d'Heisenberg, pour des raisons de respect dû à l'autorité, ou du fait d'une sous-estime personnelle. « Je ne suis personne pour me prononcer »¹¹⁰ furent-ils plusieurs à répliquer, tout en acceptant finalement de se prononcer. D'après un philosophe des sciences indien interrogé, anciennement physicien, « peut-être que les physiciens n'ont pas compris la question. Ils ont juste dit « oui » parce qu'Heisenberg est quelqu'un de célèbre et doit donc avoir raison. Ils ont un problème de confiance en eux. Les Français n'ont pas ce problème »¹¹¹. Il est incontestable qu'il y a une différence sur l'attitude vis-à-vis d'Heisenberg et de la liberté prise pour le critiquer. Des physiciens Français par exemple n'hésitent pas à dire : « Il s'est trompé sur pas mal de choses, mais les gens n'ont pas osé s'opposer à lui ». « Heisenberg n'a pas dit que des trucs bien ! ». Les discours des physiciens indiens ne sont pas aussi critiques. L'un d'eux dit à propos d'Heisenberg : « C'est un très grand homme, c'est une très grande déclaration. Je ne suis pas versé dans tout cela. » Cependant il ajoute : « mais j'ai été un observateur de la physique des particules. [...] C'est probablement vrai »¹¹². Il fait donc appel à son expérience pour conclure sur la valeur de cette proposition d'Heisenberg, et pas seulement sur le statut de ce personnage. Il est possible que le respect traditionnel pour l'autorité ou le manque d'estime induisent une tendance dans les réponses, cependant, nous avons pu voir plus haut que l'accord exprimé avec Heisenberg était très souvent appuyé par des arguments élaborés. Donc, cette hypothèse devrait assez peu influencer l'adhésion majoritaire envers la symétrie.

Notre impression est que l'accord avec la proposition d'Heisenberg repose à la fois sur le respect d'une figure qui fait autorité dans le domaine, ainsi que sur l'accord avec sa

¹⁰⁸ G.M. 38.18 These are old doctrines. Who knows maybe the fundamental theory is not particularly symmetric, I think the fundamental theories are not particularly symmetric. It maybe quite ugly from the point of view of symmetry. But symmetry eventually do exist in the current world at our scale. Certainly gauge symmetry is a very important thing. It is like a carry principle for standard modal that has been discovered by insisting on gauge symmetry. Certainly it is like that. But I wouldn't engage myself on symmetry.

¹⁰⁹ "It is the viewpoint of a mathematical physicist. I don't say there is no truth in it. Or not substance in it. There is a substance in it. But physical reality has some importance. But too much of mathematization I am a little skeptical of that, because it takes away the reality which you can see within your range. It strikes me on my head. Particle reality was a mental reality. There is lot of conclusion there. They say that ho It is a mental concept therefore it is not reality, but it is not like that. Extreme position is opposite. There is an interplay in the two side, there is a duality."

¹¹⁰ "I am no one to agree or disagree with that?"

¹¹¹ "Maybe Indian physicist did not understand the question. They just said yes because Heisenberg is famous and he must be right. There is a problem of self-confidence. French don't have this problem."

¹¹² "That is very big man. That is a very big statement. I am not so clouded in all these things. But I have been sort of observer of particle physics because we don't do that with other thing that basic knowledge. It is probably true, I believe, it's probably true."

proposition de prioriser la symétrie. La première raison est cependant moins présente que la seconde dans les réponses des physiciens.

III. A.6. Ceux qui ne sont pas d'accord

La minorité des physiciens indiens qui ne sont pas d'accord avec la proposition d'Heisenberg de remplacer le concept de particule par celui de symétrie se justifie par des raisons de deux ordres :

- la particule leur plaît. Ainsi un physicien théoricien de Mumbai aime voir le monde de manière particulière. « J'aime la manière dont je m'intéresse au monde autour de moi. Et ce que je vois ce sont des particules. J'aime l'idée de particule. Je ne sais pas ce que cela veut dire. Nous savons que ce sont des fluctuations quantiques des champs »¹¹³ ;

- la symétrie est trop restrictive, ils préféreraient un autre concept, plus fondamental. « La symétrie est trop restrictive, j'opterai plutôt pour le dynamisme, l'émergence ».

En conclusion de cette partie sur l'analyse du discours des Indiens, et avant de passer aux Français, nous pouvons caractériser ces discours par :

- Le respect des figures qui font autorité dans la science
- L'importance de l'ordre et de la symétrie dans leur représentation de ce qu'est la réalité ou la nature
- Le choix d'utiliser des concepts qui fonctionnent, en fonction des domaines d'utilisation

III.B. Analyse du discours des physiciens Français

III.B.1. La nature n'est pas ordonnée, ni symétrique

Un seul physicien Français a dit qu'il trouvait la nature symétrique. Quand ces physiciens admettent l'importance de la symétrie en physique, c'est plutôt la brisure de symétrie qui les intéresse : « Il ne s'agit pas d'une symétrie absolue, on ne peut pas parler de symétrie sans brisure de symétrie. Pour unifier les interactions faibles et fortes, il a fallu faire appel à une brisure de symétrie qui a donné le Higgs ». Il ne s'agit pas de l'absence de toute symétrie, qui serait vide de sens, mais une variation par rapport à une symétrie attendue – ce qui se nomme « dissymétrie ». C'est donc un caractère qui devient fertile pour la recherche. « Pas sûr qu'il existe une particule fondamentale, ni même une symétrie fondamentale. Toutes les symétries qu'on connaît ont fini par être reconnues comme approchées, des symétries approchées : la parité, le renversement du temps, la conjugaison particule/anti-particule ... On s'aperçoit qu'il y a toujours une dissymétrie quelque part. Il y a peut être « CPT » qui serait conservée (CPT implique de manière simultanée la conservation de la charge, de la parité et du temps). La symétrie est faite pour être brisée. Sinon ça devient ennuyeux. Imaginez les bâtiments, les visages symétriques, ça ne servirait à rien de construire l'autre partie. Et l'art non plus n'aime pas la symétrie ». Comme certains chercheurs interrogés l'ont aussi souligné, en physique, on ne peut pas parler de symétrie sans parler de brisure de symétrie.

On a vu que les Indiens sont plus nombreux que les Français à trouver la nature ordonnée. Une grande partie rejette donc l'idée d'ordre dans la nature, tel que ce doctorant en physique statistique : « Je n'aime pas la notion d'ordre. Elle a un sens en physique, que l'on appelle

¹¹³ « I like the way I am interested in what is happening around me. What I see is particle. I like the idea of particle. I don't know what it means. We know that particles are quantum fluctuations of fields. »

"paramètre d'ordre". Ses autres significations me paraissent vagues. La notion de chaos aussi. Il s'agit de notions morales. Nous essayons de calquer quelque chose sur la réalité qui est telle qu'elle est. Si elle était ordonnée, on pourrait tout prévoir, ce qui n'est pas possible. Je me bats farouchement contre l'interprétation erronée du second principe de la thermodynamique qui estime que l'entropie est une mesure du chaos, du désordre. L'entropie sert à mesurer le degré de connaissance. Un volume de l'espace des phases plus grand signifie une entropie plus grande. Ce n'est pas une question d'ordre.» Une grande partie des physiciens français trouve la nature à la fois ordonnée et chaotique (35%) : « Ce n'est pas parce que les lois sont ordonnées, que la nature n'est pas chaotique ». La compatibilité avec les faits est indiscutablement le critère le plus important, avec la simplicité, pour une théorie et la symétrie n'est quasiment jamais citée par les Français comme critère important, alors que nous avons vu qu'elle l'était par les Indiens. « La symétrie c'est un aspect important mais ce n'est pas le principal » explique un physicien français en optique. Pour un physicien des particules : « Il y a bien quelques propriétés physiques qui sont symétriques mais je ne sais pas s'il existe ou s'il faut une symétrie fondamentale ».

« La symétrie n'est pas un critère de choix, explique un physicien théoricien et philosophe français, c'est un méta critère. L'intérêt de la symétrie c'est que c'est un témoin indirect d'objectivité. L'objectivité c'est quoi ? C'est la production d'un formalisme qui vaut pour tous les points de vue, temporels, spatiaux, où que vous soyez, quand vous soyez. Ça signifie que si vous changez votre orientation spatiale ou au sens large, par rapport à l'objet que vous étudiez, vous ne variez pas votre dispositif. Quand vous tournez un cristal cubique, vous avez toujours la même face carrée devant vous. On ne varie pas dans les prédictions, donc il s'agit d'un témoin de l'objectivité. Si on recherche l'objectivité, on recherche la symétrie. La symétrie est un témoin de la réussite de la quête d'objectivité. Quant à la brisure de symétrie, c'est un témoin du passage d'un modèle objectif à un point de vue particulier, de quelqu'un dans un laboratoire ou bien le point de vue particulier de l'humanité en général. [...] La symétrie ne vaut que par sa brisure potentielle. La généralité ne vaut que parce qu'elle se raccorde à la particularité. Une théorie physique qui aurait une magnifique équation mais qui ne vous dirait pas comment cette équation se traduit dans cette expérience particulière avec ce dispositif particulier, n'aurait aucun sens. Donc il y a toujours une sorte de dialectique entre généralité et aspect particulier. » Ce qui est troublant dans cette réflexion, c'est que l'objectivité renvoie par définition à l'observateur. Ce qui veut dire, pour ce physicien et philosophe, qu'il n'y aurait pas véritablement de symétrie absolue sans rapport à un observateur. On comprend l'importance accordée dans ce cas à la brisure de symétrie : ce n'est qu'elle qui peut rendre compte des phénomènes observés. En effet, la symétrie s'accorde au modèle idéal, qui lorsqu'il est devenu un phénomène observable introduit une brisure de symétrie.

Ce que l'on peut globalement observer dans ces arguments, c'est l'attitude des physiciens français plus radicalement critique envers le concept de symétrie et son caractère absolu.

III. B. 2. Utiliser des concepts manipulables, qui correspondent à notre vision quotidienne du monde

Une des principales critiques portée par les physiciens français à l'idée de symétrie, est son aspect trop abstrait, trop mathématique. « Comment résoudre un problème si l'on ne parle pas de particules, si on ne parle que de symétrie, je ne comprends pas la notion de symétrie, c'est assez récent. » Même ceux qui sont méfiants à l'égard du concept de particule, ne le sont pas moins face au concept de symétrie : « La symétrie, elle, est trop abstraite, compliquée à

manipuler ». « La symétrie est quelque chose de très complexe en physique. Peu de gens sont capables d'en parler sans dire de conneries ». « La symétrie ?, répond un étudiant de master, un des sujets les plus subtils, que j'ai le moins compris, notamment la symétrie CPT ». Un physicien avoue qu'il a besoin du concept de particule fondamentale. « Il y a des gens qui réfléchissent mieux avec des concepts algébriques, d'autres qui ont besoin d'images. Moi j'ai besoin d'images, la symétrie est un niveau d'abstraction trop important ».

« Deux physiciens ne vont pas avoir la même compréhension d'une notion, elle ne va pas leur faire sens de la même manière. Ca dépend des représentations, de la culture personnelle. Pour moi, l'idée de symétrie n'est pas essentielle ».

On retrouve aussi l'un des arguments principaux des Indiens, le concept de particule est plaisant, plus facile à représenter, il est familier. « La particule ne s'évanouit pas sous la symétrie. Ne parler que de symétrie, c'est aller un peu vite en besogne. Les symétries sont fondamentales, mais il faut spécifier beaucoup de choses. Les groupes correspondent à des concepts physiques. Il faut garder un concept physique ».

Enfin, on retrouve l'autre argument des physiciens indiens, à savoir que le concept de symétrie est limité, tout comme celui de particule, et qu'il faut opter pour un autre concept. « Heisenberg a dit cela à une époque de débats intenses. Ce n'est plus le cas ». « Maintenant, certains pensent davantage « en terme de structures et de relations entre les entités. »

Il est clair que la difficulté vient de l'inaccessibilité du monde subatomique : « dans la mesure où l'on ne pourra jamais avoir une représentation du monde sub-atomique, le sens de la vue n'est pas mobilisé de la même manière. On peut juste avoir des représentations. La symétrie est une approximation du réel. C'est un outil mathématique qui permet de dégager certaines propriétés, mais elle n'est pas respectée partout. » Les physiciens comprennent le dilemme d'Heisenberg, mais ils ne valident pas son extension à l'ensemble du réel. « Il a représenté tous les objets par des matrices. Il n'arrivait plus à représenter la position, la vitesse. Je comprends ce qu'il veut dire. C'est vrai dans le cadre de la mécanique quantique, mais pas en physique classique. » Il s'agit donc de trouver un concept qui soit valable à tous les niveaux. Ou bien, selon un argument proposé aussi par des physiciens indiens, de garder ce qui marche : « Raisonner en termes de particules nous a conduit à des trucs qui globalement marchent. Pourquoi jeter cette notion à la poubelle ? Même si il existe des choses concernées par les symétries, il faut garder les deux concepts pour avoir plus de chance de faire des découvertes ». « Je pense que derrière chaque particule fondamentale, il existe une symétrie fondamentale, et réciproquement, c'est juste une façon différente de décrire les choses. ». Certains imaginent que le domaine d'étude détermine la préférence, mais ils ne sont pas du même avis apparemment : « Il est possible qu'un physicien du CERN préfère parler en termes de particules, alors qu'un théoricien parlera en termes de symétrie ». « Un physicien du CERN préférera sans doute parler en termes de symétries. Ca a permis de découvrir de nombreux groupes de particules fondamentales ».

Donc, une ressemblance avec les arguments des Indiens est la souplesse dans le choix des concepts, la mise en contexte. Mais à la différence des Indiens, pour les Français, la symétrie est un concept trop abstrait, trop mathématique.

III. B. 3. Ceux qui sont d'accord

Parmi les réponses en accord avec la proposition d'Heisenberg, on retrouve certains des arguments avancés par les physiciens indiens. Ainsi, le constat que la symétrie tient une place importante dans les théories modernes : « On s'est rendu compte que l'on pouvait décrire la

physique uniquement par des symétries, par exemple le théorème de Noether¹¹⁴. Loin d'être invalidée par les bouleversements conceptuels des quanta et de la relativité, cette articulation qui a été généralisée, réinterprétée et étendue, joue un rôle déterminant dans la physique contemporaine. On a l'impression que la symétrie est plus fondamentale que la particule, donc oui, je la mettrai avant, mais le problème, c'est que c'est quelque chose d'abstrait ». Pour un autre : « Toute interaction est due à une question de symétrie ». « La clé de voûte du monde microscopique c'est la symétrie. On parle de champs, d'objets mathématiques, on associe des densités (Lagrangien) qui doivent obéir à des symétries. » Un des arguments proposés par les physiciens Français et qui n'apparaît pas chez les Indiens, est la dimension historique, qui s'appuie sur une perspective plus large en histoire des sciences. « Ce qui me paraît important quand on regarde l'histoire de la physique, ce qui reste ce n'est pas tant les entités que les structures, les symétries. La notion de structure est fondamentale, plus que les particules ».

Pourtant, on ne peut pas vraiment dire que l'ensemble des physiciens français partagent l'idée que la symétrie soit importante dans la physique moderne. Certains la contestent, alors même qu'ils sont issus des mêmes disciplines que ceux qui soutiennent cette idée. Il semble donc étonnant que, au sein d'une même discipline, certains perçoivent l'importance de la symétrie (les Indiens surtout) et d'autres pas (les Français surtout).

IV. L'origine culturelle des physiciens influence-t-elle leur rapport à la symétrie ?

Nous venons de voir qu'il existe des différences dans les réponses, mais aussi des ressemblances. La principale ressemblance entre les points de vue des physiciens indiens et français est :

- Il est plus confortable d'utiliser un concept qui soit facile à représenter, à manipuler, ce qui n'est pas toujours le cas de la symétrie.

La principale différence est :

- La nature est bien plus symétrique pour les Indiens que pour les Français, donc la symétrie doit tenir une place fondamentale dans nos théories et représentations du monde physique.

Le fait d'être Indien ou Français a indubitablement une influence sur les réponses. Mais peut-être y a-t-il d'autres paramètres qui influencent les réponses, cachés sous la dimension culturelle ? Nous avons donc cherché s'il existait un lien statistique entre par exemple le fait d'être théoricien et de voir le monde de manière symétrique ou ordonné. Il pourrait en effet y avoir un lien vu que les théoriciens sont très mathématiciens. Mais nous n'avons pas trouvé de lien. Les théoriciens ne répondent pas spécialement plus positivement que les expérimentateurs à nos questions sur la symétrie. Il pourrait alors exister une influence selon les spécialités, par exemple un cosmologiste pourrait être moins sensible à la symétrie qu'un physicien des particules. Mais là encore ce n'est pas le cas. Ni l'âge, ni le sexe ne semblent non plus jouer.

¹¹⁴ Le théorème de Noether concerne l'équivalence entre les lois de conservation et l'invariance sous certaines transformations (appelées *symétries*) : « à toute transformation infinitésimale qui laisse invariante l'intégrale d'action correspond une grandeur qui se conserve. »

IV. A. La symétrie dans les traditions savantes indiennes

Donc, bien qu'entre les physiciens indiens, il existe de grandes différences de parcours intellectuel, de motivation philosophique, et d'axe ou pratique de recherche, ils se réunissent majoritairement sous une représentation commune, qui semble lié à ce qu'ils ont en commun : un parcours culturel et éducatif similaire. Tous ceux qui ont été interrogés ont vécu leur enfance et fait leurs études jusqu'au master inclus, en Inde. Or, si l'on s'intéresse à la culture indienne, qui est certes plurielle, on retrouve une base commune. Bien que les relations soient universelles dans la pensée humaine, leurs logiques n'ont pas été uniformément perçues et développées. « Les anciens penseurs indiens ont régulièrement théorisé sur les relations de grammaire, de musique, du droit et des affaires, en décrivant ces phénomènes avec la permutations des symboles verbaux ou algébrique qui ont longtemps été les termes analytiques de choix. Une logique de relations n'est pas si facile à énoncer à travers les formes propositionnelles de l'argumentation géométrique qui ont été favorisés pendant des siècles en Occident. » écrit Marriott (Marriott 1990)

François Chenet estime que, contrairement à la philosophie qui naît en Grèce et qui privilégie l'intelligibilité de la cause, selon l'expérience, la philosophie indienne privilégie les analogies entre microcosme et macrocosme (Chenet 2013). On pourra, à juste titre, estimer que les logiciens grecs ont aussi développé un recours à l'analogie. Mais ce ne fût pas comme un mode prioritaire de connaissance. Docteur en philosophie indienne, Colette Poggi soutient, comme François Chenet, « l'importance de l'analogie dans les philosophies de la conscience en Inde ancienne. Le tout (*sarvam*), l'univers et chacune de ses parties, est conçu comme un tissage (*tantra*) de flux (*nāḍī*) de conscience (*cit*) et de souffle (*prāṇa*). » (Poggi 2012)

Pourquoi insister sur la place de l'analogie dans la culture indienne dans le cadre d'une réflexion sur la symétrie ? Car, l'analogie est une forme de symétrie très importante. En effet, l'analogie est l'immunité de la validité d'une relation à des changements. C'est une classe de situations qui semblent analogues l'une à l'autre c'est à dire obéissant à une loi commune. Donc, l'accordance importée à l'analogie dans les traditions savantes indiennes n'est peut-être pas indépendante de la tendance des physiciens indiens à accorder tant d'importance à la symétrie. Dans son livre sur la symétrie en science, Rosen explique : « Si vous dites « un animal à une queue relativement longue », cette relation implique deux éléments : un animal et une queue relativement longue. Il existe plus d'un animal pour lequel cet élément est valide. La relation définit une analogie entre les animaux. Cette relation est symétrique car : 1. Il existe la possibilité d'un changement. On peut changer d'animal pour qui cette relation serait formulée. 2. La validité de la relation est immune de certains changements. Par exemple si vous changez la couleur des yeux de l'animal, sa queue restera quand même longue. » (Rosen, 2008,11). Pour confirmer l'importance de l'analogie dans la pensée traditionnelle indienne, nous pouvons nous arrêter un instant sur le travail de l'anthropologue Philippe Descola. D'après lui, les schèmes intégrateurs des pratiques humaines peuvent être ramenés à deux modalités fondamentales de structuration de l'expérience individuelle et collective : identification et relation (Descola, 2005, 163). Descola explique qu'il existe des schèmes universels, d'autres qui procèdent d'une compétence culturelle acquise ou des aléas de l'histoire individuelle (2005, 151). Les schèmes individuels varient d'individu à individu, ils sont dus à l'accomplissement routinier d'une action (par exemple, un itinéraire régulièrement emprunté), à l'ordonnancement de tâches quotidiennes, etc. Mais ce sont les schèmes collectifs qui intéressent les anthropologues car ils constituent l'un des principaux moyens de construire des significations culturelles partagées. Parmi les schèmes réputés universels, on trouve les attentes concernant l'action humaine (intentionnalité, affects), ceux concernant les objets physiques (gravité, continuité des trajectoires, permanence des objets, etc), les schèmes biologiques (reproductibilité, croissance, etc).

Une forme de rapport aux autres êtres – une ontologie- qui s’applique à la société moderne occidentale après l’émergence des sciences modernes est appelée par Descola le « naturalisme ».

- Cette ontologie pose une opposition radicale d’intériorité entre les humains et la nature, malgré une similarité d’apparence.
- Elle postule que rien n’advient sans une cause.
- Elle envahit le sens commun et la pensée scientifique si bien qu’elle est devenu pour ses membres un présupposé.

Les physiciens français interrogés relèvent de cette ontologie.

Très différent du naturalisme, l’ontologie analogique tient de l’idée que le monde est un ensemble infini de singularités et, puisqu’on a du mal à penser ce monde, il faut trouver des correspondances par analogie. “L’analogisme est un rêve herméneutique de complétude qui procède d’un constat d’insatisfaction : prenant acte de la segmentation générale des composantes du monde sur une échelle de petits écarts, il nourrit l’espoir de tisser ces éléments faiblement hétérogènes en une trame d’affinités et d’attraction significantes ayant toutes les apparences de la continuité. Mais c’est bien la différence infiniment démultipliée qui est l’état ordinaire du monde, et la ressemblance le moyen espéré de le rendre intelligible et supportable” (Descola, 2005, 283). D’après l’analyse de Descola, qui s’appuie sur des échanges avec des spécialistes de l’Inde, l’Inde brahmanique était et est encore « analogique ». Notre étude des traditions savantes anciennes indiennes donne des arguments en ce sens. Il y a dans les traditions savantes indiennes, de nombreux recours à l’analogisme, et à des formes très sophistiquées de classification du réel. Les écoles de philosophie en particulier celle du *Nyaya* (Vème siècle et suivants) précisent les moyens de connaissance qui sont au nombre de quatre : perception, inférence, analogie et témoignage d’autorité (littérature review !). L’analogie est donc un moyen de connaissance au même titre que l’inférence (Belzille, 2011). Chaque forme de sciences ou savoirs a recours à l’analogie. *L’Arthava Veda* qui contient l’un des plus vieux systèmes détaillés de l’*Ayurveda* (Science de la longévité) propose que les conceptions physiologiques s’établissent en fonction de la théorie d’une correspondance entre le corps, microcosme et la nature, macrocosme. D’après la philosophie ayurvédique, l’homme est fait de la même façon que l’univers autour de lui (5 éléments : *akasha*, eau, feu, terre, vent). Autrement dit le microcosme (le corps humain) est ou une réplique, ou en correspondance avec le macrocosme (nature, univers). C’est pourquoi notre santé à tous les niveaux est reliée inextricablement au rythme de la nature et de l’univers, des saisons, des planètes. L’*Ayurveda* est encore très présente en Inde, il ne s’agit pas d’un mode de pensée oublié. A. Nandy suppose que cet analogisme était facilité par la culture sanskrite avec son étude indifférente des frontières entre art, humanité et science, et entre les sciences dures de la nature et les sciences molles de la société. (Nandy, 1995, 102). Est-ce que l’analogisme entre microcosme et macrocosme imprègne encore la science indienne ? En tous cas, il semble qu’il ait eu une influence sur certains scientifiques indiens du XX^{ème} siècle. Abha Sur (Sur 2011) nous évoque le cas de Raman, dont les recherches dépassaient les limites des disciplines : il trouvait des analogies entre les vibrations de musique et celles de l’optique. La préoccupation des Indiens pour la *jāti* est encore indéniable : il s’agit du classement par analogie, la logique des classes, de genres et d’espèces. Diverses taxonomies de saison, de paysage, de temps, de qualités (*guṇas*), de goûts, de personnalités, d’émotions, d’essences (*rasa*), sont à la base de la médecine, de la poésie, de la cuisine, etc. Chaque *jāti* ou classe définit un cadre, une structure de pertinence, une règle de combinaisons autorisées, un cadre de référence, une méta-communication de ce qui est et qui peut être fait (Ramanujan 1989).

Nous avons remarqué que la question posée sur la symétrie, dans nos entretiens, pouvait être mise en relation avec les questions posées sur l'ordre dans la nature/réalité. Or, dans les ontologies analogiques, explique encore Philippe Descola, l'intériorité et la physicalité sont fragmentées en des composantes multiples dont l'assemblage instable engendre un flux permanent de singularités. Les humains offrent un modèle réduit, donc maîtrisable des rapports et processus régissant la mécanique du monde. D'où une préoccupation constante pour la conservation d'un équilibre, sans cesse menacé entre les pièces constitutives. Dans la pensée védique, les actions humaines se réfléchissant dans l'ordre de la nature, *ṛta* en sanskrit (prononcer « *rita* »). Il s'agit un agencement cosmique qui se présente sous la forme d'une roue et d'un tissage (Silburn 1989). Sa racine verbale est *r* qui veut dire « arranger », et qui donna en français rite, rouage, etc. La notion de *rutsatmya* ou la pertinence s'applique à la poésie, la musique, le rituel sacrificiel, la médecine, etc. Comme le souligne Renou (Filliozat, Renou, 1985) *ṛta*, signifie aussi « articulation du temps ». Dans la pensée indienne, plus généralement, écrit Liliane Silburn, « tout acte vise à ordonner les instants et les éléments hétérogènes qui composent le réel. » (Silburn, 1989).

Nous pouvons donc conclure de cette partie que la culture indienne possède indéniablement des traits qui confèrent une place singulière à la notion de symétrie. Est-ce que cette part culturelle est présente au point d'influencer encore aujourd'hui le mode de pensée de physiciens indiens, imprégné d'un modèle scientifique universel ? Les interviews que nous avons menées semblent en tous cas indiquer une spécificité culturelle. Mais cette spécificité a-t-elle une quelconque influence sur la manière dont ces physiciens font de la recherche ? Ou s'agit-il purement d'un mode de pensée en arrière fond de leur représentation scientifique du monde ?

Il serait légitime, avant d'aborder cette question, de décrire plus profondément l'ontologie des physiciens français qui semblent accorder moins de place à la symétrie que leur collègues indiens. Outre le fait qu'elle s'est développée au sein d'une ontologie naturaliste, la pensée française (en physique) ne recèle-t-elle pas des spécificités propres ?

IV. B. Du côté de la pensée savante française

Il est plus difficile, en tant que française, de prendre du recul sur sa propre culture. Ici, nous appellerons à la rescousse les auteurs qui ont tenté de décrire les spécificités des physiciens français. Le premier semble avoir été le physicien Duhem. Dans *La théorie physique*, (Duhem 1906), celui-ci différencie l'esprit français de l'esprit anglais. L'idée française de la physique lui apparaît déductive. Une théorie physique est pour les Français essentiellement un « système logique » et des relations mathématiques au contraire des physiciens anglais qui construisent, d'après lui, leur théorie à partir de modèles mécaniques. L'ordre et à la clarté sont essentiels à la démarche qui relie les hypothèses initiales aux conséquences. Il cite Laplace, Fourier, Cauchy et Ampère qu'il place dans la descendance de Descartes. Duhem accentue les spécificités nationales et va jusqu'à attribuer à Newton un esprit français ! Toujours est-il écrit Lecourt (Lecourt 2002), qu'il a bien existé une idée française de la science, d'ascendance cartésienne, qui se remarque non seulement dans l'exposition des théories mais dans le mode de production même des connaissances nouvelles. L'historienne Nye identifie aussi des facteurs qui entretiennent le style français en faveur des mathématiques : jusqu'en 1958, en France il n'existait pas de concours séparés d'agrégation en physique et mathématique (Nye 1986). En Grande-Bretagne, compare l'historien Gayon (Gayon 1996), « ce biais institutionnel précoce en faveur des mathématiques pures n'a pas de correspondant. Les physiciens anglais ont en conséquence toujours exigé de leurs collègues

les plus mathématiciens qu'ils sachent présenter leurs théories au moyen de modèles mécaniques de la nature. » Nous pouvons donc constater qu'il existe bien un esprit français en physique. Mais il y a à première vue quelque chose de paradoxal par rapport à notre recherche, c'est que la notion de rationalité et d'ordre y semblent prépondérantes. Or, comme nous l'avons vu, ordre et symétrie semblent aller ensemble. Comment alors expliquer que les physiciens français n'accordent pas plus d'importance à la symétrie ? Dans le tableau 2, nous voyons que les Français voient le plus souvent le monde comme un mélange d'ordre et de chaos. C'est donc surtout l'ordre dans la démarche plutôt que l'ordre dans la réalité physique qui doit leur être cher. D'autre part, il est probable que l'esprit français de l'époque de Duhem ou de celle étudiée par Nye a perdu de sa spécificité. Peut-être s'est-il anglicisé, ou bien s'il perdure il faudrait pouvoir le montrer en le comparant à diverses nations.

Il est également possible de s'appuyer sur l'analyse de Pestre (1984), plus récente, puisqu'elle concerne les physiciens de l'entre deux guerres. « La prééminence dans les manuels de l'époque de physique d'une démarche classique et cohérente, la présentation de la physique sous son aspect le plus ordonné, même si cela se fait au détriment des travaux perturbateurs les plus récents [...] nous semblent trouver leurs racines dans la volonté toujours réaffirmée en France de suivre des principes de clarté dans l'exposition et de logique dans l'énoncé des postulats et des théorèmes, dans le désir de ramener la science à une synthèse close et définitive : les maîtres mots toujours répétés sont logique rigoureuse, ordonnance solide, fermeté gracieuse, pureté élégante. Le désordre de la science en construction, voire en révolution – ne saurait être toléré. » (Pestre 1984, 198) Pestre montre donc que l'importance de l'ordre perdure, mais davantage dans la présentation de la science que dans l'idée que l'on se fait du réel. Par ailleurs, il montre que les physiciens français préfèrent « souvent garder une science « rationnelle », c'est-à-dire cohérente, sans hypothèse, n'entraînant pas trop loin du cartésianisme géométrique, c'est-à-dire encore, ne s'éloignant pas trop de la Raison humaine triomphante qui a reconstruit le monde à partir de règles d'évidence. Bien sûr encore on sera capable d'accepter les théories efficaces nées ailleurs, mais ne pouvant les recevoir pleinement dans leurs implications para-scientifiques, on sera à peine en mesure d'innover, de faire œuvre créative originale en ce domaine. Les Français ont pu jouer un rôle essentiel dans la physique mathématique du XIX^{ème} siècle, ils seront moins à l'aise dans les facultés d'imagination non classiquement rationnelles que demandera la physique quantique et le monde de l'atome, ils seront ceux qui auront le plus de difficulté à évoluer librement dans un monde de pseudo-objets ne se déplaçant plus dans le cadre du temps et de l'espace communs. Et cela semble vrai même pour ceux qui acceptèrent le plus vite ces théories étrangères : nous l'avons vu pour Paul Langevin et Louis de Broglie. » (Pestre, 1984, 201)

Il y a donc, dans la tradition physique en France, une crainte des nouveautés théoriques, plus précisément des théories heurtant le bon sens ou bien celles dont les fondements expérimentaux ne sont pas jugés suffisants. Alors, ceci peut expliquer qu'entre un concept ayant une représentation concrète comme la particule et un objet ayant une représentation abstraite, comme la symétrie, le choix des physiciens français se porte davantage sur la particule, qui a, par ailleurs, fait ses preuves.

Notre analyse gagnerait cependant à une comparaison avec d'autres pays, pour mieux déceler ce qui alimente actuellement le positionnement des physiciens français.

IV.C Le choix des mots

Le choix des mots nous révèlent lui-aussi quelques différences culturelles. D'après Saha & Chakraborty (2012), le terme « asymétrie » a été utilisé en France depuis 1691, tandis que le terme « dissymétrie » apparaît pour la première fois dans les années 1820 dans la littérature scientifique française où il fut surtout utilisé en cristallographie. Louis Pasteur a popularisé le

terme « dissymétrie » lors d'une conférence de 1840 intitulée *Recherche sur la dissymétrie naturelle des produits chimiques*. Or, la conférence a été traduite en anglais par « Researches on the Molecular Asymmetry of Natural Organic Products ». Saha & Chakraborty suggèrent que Pasteur avait pourtant volontairement utilisé le terme « dissymétrie ». Il était bien conscient du fait que « les cristaux de sodium-ammonium tartarate contenaient un axe triple de symétrie (l'axe principal) et trois axes doubles, c'est-à-dire, que le cristal est dissymétrique » (Pasteur cité par Saha & Chakraborty, p.777). D'après ces auteurs, Pasteur aurait donc délibérément choisi le mot « dissymétrie » avec pleine conscience de son sens, alors que le dictionnaire français de l'époque contenait les deux mots asymétrie et dissymétrie. D'ailleurs l'utilisation dans la langue anglaise de dissymétrique reste encore aujourd'hui moins courante que le terme « asymétrie ». D'après *l'Oxford English Dictionary*, l'introduction de « dissymétrie »¹¹⁵ remonterait aux années 1880, à partir du vocabulaire de la chimie, il y est donc moins ancien qu'en France. En chimie, la dissymétrie et l'asymétrie sont aujourd'hui deux propriétés différentes indicatives de la chiralité d'une molécule¹¹⁶. La langue est là un révélateur de la variation culturelle au sujet d'une même notion scientifique.

Nous avons également pu observer que dans les propos des physiciens, le terme « dissymétrie » est apparu une fois, le terme « asymétrie » est apparu également une fois. Ce ne sont donc pas de concepts très utilisés par les physiciens, qui apparemment préfèrent utiliser les termes de « brisure de symétrie » (revenus régulièrement dans les discours). En effet, il semble que ces notions d'asymétrie et de dissymétrie soient surtout utilisées pour qualifier des molécules, en chimie. En physique, le mot « dissymétrie » est réservé surtout à des situations où une symétrie est brisée et donc conserve une forme de mémoire dans sa symétrie antérieure. Le terme « asymétrie » quant à lui se réfère davantage à des conditions où la symétrie n'a jamais été présente. Mais, comme nous venons de le voir, ces mots n'ont pas été beaucoup utilisés dans nos entretiens, à la du fait que nos questions ne portaient pas spécifiquement sur ces différences entre les deux termes mais aussi parce que leur différence n'a apparemment pas une importance décisive en physique.

Conclusion : Importance accordée à la symétrie : que peut-on en conclure, et quel impact sur la recherche ?

Que peut nous apporter le fait que, selon la culture des chercheurs, ils n'accordent pas la même importance à la notion de symétrie ? D'une part, cela permet de comprendre comment se fait - ou ne se fait pas - la reconnaissance par les physiciens d'un nouveau modèle explicatif ou théorique. Cette étude incite à penser que les physiciens indiens sont plus enclins à adopter une théorie fondée sur la symétrie. « J'ai eu à choisir et prouver la valeur d'une théorie parmi plusieurs dans ma thèse : il y a eu des aspects de simplicité, beauté, symétrie », raconte un jeune doctorant. Chaque savant n'a pas les mêmes critères de preuve. Il serait intéressant, pour compléter cette analyse d'étudier quels modèles théoriques ou explicatifs sont mieux acceptés en Inde et en France, comme par exemple la théorie des cordes ou bien la gravitation quantique à boucles. Une théorie peut avoir sa cohérence et être validée par de nombreuses expériences, cela ne peut suffire à son acceptation par tout le milieu physicien. Les physiciens s'appuient sur des critères de cohérence conscients ou non, qui relèvent de

¹¹⁵ Définition de dissymétrie tirée du *Oxford English Dictionary* (www.oxforddictionaries.com, nov 2014) : 1. Lack of symmetry. 1.1 technical The symmetrical relation of mirror images, the left and right hands, or crystals with two corresponding forms.

¹¹⁶ Chaque objet asymétrique, qui ne possède aucun élément de symétrie est chiral. Mais l'inverse n'est pas forcément vrai. Des objets chiraux peuvent posséder certains éléments de symétrie.

convictions philosophiques ou religieuses, dépendent de l'éducation reçue (sociale et scolaire), des spécialités pratiquées (physique mathématique ou physique expérimentale), etc. Nous confirmons donc ce qu'écrivait Dominique Pestre pour les physiciens français de l'entre guerre : l'ensemble des « valeurs relatives à la pratique scientifique auxquels croient les physiciens relève d'une longue tradition transmise depuis l'enfance, acquise à dose homéopathique journalière depuis les bancs de l'école » (Pestre, 1984, 173) même si cela semble moins vrai dans la science actuelle largement internationalisée.

Ainsi, la symétrie est, chez les physiciens indiens, synonyme d'ordre et d'équilibre ; elle est, pour les physiciens français, davantage une notion complexe qui cherche à se redéfinir et qui n'a de véritable intérêt que lorsqu'elle est brisée. Nous ne voulons pas dire que cette adhésion plus prononcée en faveur de modèles symétriques en physique est propre aux seuls physiciens indiens. Nous ne voulons pas dire non plus qu'ils sont communs à tous les physiciens indiens. Comme nous l'avons vu dans les discours qu'ils tiennent, il y a nombre d'exceptions. Nous avons voulu plutôt définir un comportement dominant, et qui se différencie d'un autre pays, en l'occurrence la France. Il serait intéressant de pouvoir comparer avec d'autres pays pour élargir notre analyse.

Bibliographie

- Chenet, Conférence François. "Philosophie Comparée Inde/Europe." *Conférence du 26 Mars 2013. Journées Franco-Indiennes de l'Université Jean Moulin-Lyon 3*. Lyon. 2013.
- Clanet, Claude. *L'interculturel. Introduction aux approches interculturelles en éducation et en sciences humaines*. Toulouse. Presses universitaires du Mirail. 1990.
- Coenen-Huther, Jacques. "La sociologie des sciences entre positivisme et sociologisme." *Revue européenne des sciences sociales* (XL-124): 219–31. 2002.
- Descola, Philippe. *Par-Delà Nature et Culture*. Paris. Gallimard. 2005.
- Duhem, Pierre. *La Théorie Physique : Son Objet, Sa Structure*. Paris. Vrin. 1981 (1906).
- Férreol, Gilles et Jucquois, Guy. *Dictionnaire de l'altérité et des Relations interculturelles*. Paris. Armand Colin. 2004.
- Filliozat, Jean et Renou, Louis. *L'Inde classique, Manuel des études indiennes. Tome I*. Paris. Maisonneuve. 1985 (1947).
- Gayon, Jean. "De la catégorie de style en histoire des sciences". *Alliage* 26: 13–25. 1996.
- Heisenberg, Werner. *Physics and beyond: encounters and conversations*. New-York. Harper & Row. 1971.
- Lecourt, Dominique. "L'idée française de la science." *Académie des sciences morales et politiques*, Paris. 2002.
- Longair, Malcolm. *Quantum concepts in physics: an alternative approach to the understanding of quantum mechanics*. Cambridge. Cambridge University Press. 2013.
- Marriott, McKim. *The journal of asian studies India through hindu categories*. New Delhi, Nebury, London. Sage Publications. 1990.
- Nandy, Ashis. *Alternative sciences: creativity and authenticity in two indian scientists*. Oxford. Oxford University press. 1995.

Annexe 15. Face à face avec la symétrie : une comparaison entre physiciens indiens et français.

- Nye, Mary Jo. *Science in the Provinces: Scientific communities and provincial leadership in France, 1860-1930*. Berkeley. University of California Press. 1986.
- Pestre, Dominique. *Physique et Physiciens En France, 1918-1940*. Paris. Editions des archives contemporaines. 1984.
- Poggi, Colette. "ÂKÂSHA Irradiating Space Cosmic Space, Microcosmic Space, Space of Consciousness." In *Présentation Au Congrès Du SARI 2012*, Paris. 2012.
- Ramanujan, a. K. "Is There an indian way of thinking? An informal essay." *Contributions to indian sociology* 23(1): 41–58. 1989.
- Rosen, J. *Symmetry rules: how science and nature are founded on symmetry*. Berlin. Springer. 2008.
- Roy, Arpita. *Dualism and Non-Dualism : Elementary Forms of Physics at CERN*. Thesis in philosophy and in anthropology in the graduate division of the University of California Berkeley. 2011.
- Saha, Chandan, and Suchandra Chakraborty. "Dissymmetry and Asymmetry A Hopeless Conflict in Chemical Literature." *Resonance* (August): 768–78. 2012.
- Siburn, Lilian. *Instant et Cause, Le Discontinu Dans La Pensée Philosophique de l'Inde*. De Boccard. Paris. 1989.
- Sur, Abha. *Dispersed Radiance: Caste, Gender, and Modern Science in India*. Navayana. Delhi. 2011.

Annexe 16. La pensée indienne ancienne, analogique ? Eléments de réflexion sur la pensée analogique selon P. Descola, appliquée au cas de l'Inde ancienne.

Ce texte est une étude sur les catégorisations de relation homme/nature proposées par P.Descola, appliqué au cas de l'Inde ancienne.

« J'ai fait l'hypothèse qu'il ne peut y avoir de développement du naturalisme, c'est-à-dire d'un esprit d'enquête scientifique, que dans les systèmes analogiques. Pourquoi ? Parce que dans cette ontologie il y a une stabilité des propriétés des choses. On y recherche sinon des lois du moins des régularités, exploitées notamment dans les systèmes divinatoires. Cela peut conduire à une perspective naturaliste dans laquelle précisément il y a des lois. On ne peut pas en revanche passer directement d'un système totémiste ou animiste au naturalisme, car les prémices sont beaucoup trop hétérogènes. Les mondes dans lesquels le naturalisme a émergé, comme en Europe, ou a été à deux doigts de le faire, comme les mondes arabo-musulman et chinois, étaient analogiques. Ph.Descola, Le Monde Science et Techno, 11.11.2013, propos recueillis par Hervé Morin

Comment l'ontologie analogique, telle que définie par Ph.Descola, si elle est encore présente chez des peuples comme ceux de l'Inde ou de la Chine, peut-elle être conciliable avec la science moderne, qui est, quant-à-elle, reliée à l'ontologie naturaliste ? C'est-à-dire, par exemple, est-il superposable d'être à la fois naturaliste et analogique ? A la fois scientifique et indien comme c'est le cas de milliers de personnes aujourd'hui ? Comment les individus accommodent-ils cette dualité ? Avant de pouvoir répondre à cette question, il est nécessaire de savoir si l'Inde peut être catégorisée comme relevant d'une ontologie analogique. Et ce travail permettra de dresser les principaux caractères de cette pensée.

Contexte : les 4 ontologies

Dans son ouvrage incontournable *Par-delà nature et culture* (2005), Philippe Descola étudie les schèmes collectifs qui constituent l'un des principaux moyens de construire des significations culturelles partagées. On peut définir les schèmes universels comme des dispositions psychiques, sensori-motrices et émotionnelles, intériorisées grâce à l'expérience acquise dans un milieu social donné. Parmi les schèmes réputés universels, se trouvent les attentes concernant l'action humaine (intentionnalité, affects), ceux concernant les objets physique (gravité, continuité des trajectoires, permanence des objets, etc), les schèmes biologiques (reproductibilité, croissance, etc). Une règle sociale ou une langue commune facilitent le partage inconscient de ces schèmes au sein d'une société. Ph. Descola propose de ramener ces schèmes intégrateurs des pratiques humaines à deux modalités fondamentales de structuration de l'expérience individuelle et collective : identification et relation. C'est-à-dire que « chaque personne établit des différences et des ressemblances entre elle et des existants en inférant des analogies et des contrastes entre l'apparence, le comportement et les propriétés qu'elle s'impute et ceux qu'elle leur attribue, une médiation entre le soi et le non soi » (p.163). Selon cette définition, les modes d'identification et de différenciation se font à partir de l'« idée » que les humains se font « des propriétés physiques et spirituelles de leur propre personne » (p. 321) à partir des ressources identiques que chacun porte en soi : un corps et une intentionnalité (p. 322).

Partout présente sous des modalités diverses, la relation de l'intériorité et de la physicalité n'est pas la simple projection ethnocentrique qui serait propre à l'Occident entre le corps d'une part, l'âme, l'esprit de l'autre. « Il faut au contraire appréhender cette opposition telle qu'est s'est forgée en

Europe comme une variante locale d'un système plus général de contrastes élémentaires. [...] Ces principes d'identification définissent quatre grands types d'ontologie, c'est-à-dire des systèmes de propriétés des existants, lesquels servent de point d'ancrage à des formes contrastées de cosmologies, de modèle du lien social, et de théories de l'identité et de l'altérité »¹¹⁷.

| | | <i>Différence des physicalités</i> | <i>Ressemblance des physicalités</i> |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|
| <i>Ressemblance des intériorités</i> | | <i>Animisme</i> | <i>Totémisme</i> |
| <i>Différence des intériorités</i> | | <i>Analogisme</i> | <i>Naturalisme</i> |

Tableau 16 : les formules autorisées par la combinaison de l'intériorité et de la physicalité sont très réduites : face à un autrui quelconque, humain ou non humain, je peux supposer soit qu'il possède des éléments de physicalité et de d'intériorité identiques aux miens, soit que son intériorité et sa physicalité sont distinctes des miennes, soit encore que nous avons des intériorités similaires et des physicalités hétérogènes, soit enfin que nos physicalités sont analogues et nos intériorités différentes.

Ph. Descola souligne bien que ces schèmes ne sont pas spécifiques de certaines aires géographiques ou culturelles : «les schèmes ontologiques se répartissent sur toute la surface de la terre au gré de l'inclination des peuples pour telle ou telle façon d'organiser leur pratique du monde et d'autrui, non parce que ces schèmes seraient l'émanation de grands phylums culturels ou le produit de diffusions d'idées hasardeusement reconstruites » (p. 289). Il a été reproché à cette proposition de Ph.Descola notamment de présenter les « schèmes organisateurs » sans distinguer les différents types de structuration linguistique, ou ethnique (Le Bot, 2010). Ce n'est pas mon objectif ici de présenter une critique de la théorie de Ph. Descola, même s'il est intéressant de noter qu'elle a été critiquée et enrichie, mais il s'agit ici de vérifier si l'Inde relève comme, il le suggère de l'ontologie analogique. Il n'est pas en sa capacité de vérifier chaque aire culturelle et c'est pourquoi nous proposons de le faire dans le cas de l'Inde, qui abrite la fois une tradition culturelle vaste et essentielle, laquelle berce aujourd'hui plus d'un septième de la population mondiale. Cette vérification permettra d'utiliser cette donnée dans différents types de recherche, et notamment la mienne, qui consiste à définir s'il existe une spécificité des sciences indiennes.

Le naturalisme pose une opposition radicale d'intériorité entre les humains et la nature, malgré une similarité d'apparence. Il s'applique à la société moderne occidentale après l'émergence des sciences modernes, et serait donc une ontologie typique des sciences modernes en particulier en Europe. Il imbibe notre sens commun et notre principe scientifique si bien qu'il est devenu pour nous un présupposé. Une de ses caractéristiques est qu'il postule que rien n'advient sans une cause. L'autre est qu'il oppose l'esprit humain aux autres éléments de la nature. Ces deux traits caractéristiques sont deux des piliers des sciences modernes : déterminisme et opposition sujet/objet.

L'analogisme tient de l'idée que le monde est un ensemble infini de singularités et, puisque l'on a du mal à penser ce monde, il faut trouver des correspondances par analogie. Selon Ph.Descola, c'est ce système qui gouverne d'énormes ensembles comme la Chine ou l'Inde, mais qu'on avait jadis chez les Aztèques ou en Europe jusqu'à la Renaissance avec les sociétés d'ordres et de castes. «L'analogisme est un rêve herméneutique de complétude qui procède d'un constat d'insatisfaction : prenant acte de la segmentation générale des composantes du monde sur une échelle de petits écarts, il nourrit l'espoir de tisser ces éléments faiblement hétérogènes en une trame d'affinités et d'attraction signifiantes ayant

¹¹⁷ Ibid, P176

toutes les apparences de la continuité. Mais c'est bien la différence infiniment démultipliée qui est l'état ordinaire du monde, et la ressemblance le moyen espéré de le rendre intelligible et supportable" (p. 283).

Nous allons maintenant reprendre chacun des traits caractéristiques de l'ontologie analogique, tels que définis par Ph.Descola, afin de savoir si la pensée indienne peut être considérée comme une pensée analogique. Précisons que par « pensée indienne », nous entendons ici l'assortiment pluriel des différentes écoles de pensée qui parsèment l'immense ensemble qu'est l'Inde brahmanique, bouddhiste et jaïna assortis de leurs traditions savantes comme la *granita*, la *jyotisha* ou l'*ayurveda* (*mathématique, astrologie, médecine auxquels on peut adjoindre la logique, la grammaire, etc.*). Malgré leur grande diversité, ces écoles de pensée ont des traits communs qui constituent ce que nous appelleront la « pensée indienne ».

L'étude de cet ensemble d'écoles de pensées et de traditions savantes a été l'objet de recherche de nombreux auteurs, comme Potter ou Zimmerman. Il s'agit surtout d'une pensée ancienne, mais dont la contemporanéité est a priori encore vive. La question de la cohérence de cet ensemble et de sa vivacité actuelle dans la population indienne a été traitée notamment par de manière brillante par Ramanujan (2005) ou Marriott (1990). Par contre, sa vivacité dans des populations de scientifiques indiens contemporains n'a pas à ma connaissance été traitée et demanderait à faire l'objet d'un projet de recherche.

Ordonner le monde : l'ontologie analogie en Inde

L'analogisme selon la définition qu'en donne Descola, « fractionne l'ensemble des existants en une multiplicité d'essences, de formes et de substances séparées par de faibles écarts, parfois ordonnées dans une échelle graduée, de sorte qu'il devient possible de recomposer le système de contrastes initiaux en un dense réseau d'analogies reliant les propriétés intrinsèques des entités distinguées » (Descola, 2005, p. 280). Nous allons détailler plus précisément chaque trait de l'ontologie analogique et évaluer si la pensée indienne relève de ces caractères.

1. Difficulté à distinguer ce qui relève de l'intériorité et ce qui relève de la physicalité.

Ph. Descola explique que l'ontologie analogique se définit par la « difficulté à distinguer en pratique ce qui relève de l'intériorité et ce qui relève de la physicalité. », c'est-à-dire aussi de l'esprit et de la matière, du soi et du non soi. Or, ce qui particularise le plus foncièrement la pensée indienne, « c'est un postulat de pénétrabilité universelle » entre les éléments de l'esprit et ceux de la matière. « Remarquons, explique Masson, que si cette théorie nous dérouté, c'est parce que nous autres Européens sommes obsédés par le préjugé d'une opposition complète entre corps et âme, étendue et pensée - préjugé soit inexistant, soit beaucoup moins incrusté dans la mentalité indienne » (Masson, 1925, p.345). On retrouve d'ailleurs encore dans la médecine indienne (*ayurveda*) l'idée qu'un dérèglement du corps est toujours connecté à un dérèglement de l'esprit et vice-versa, de même que l'intérieur doit être soigné par la relation avec l'environnement (saisons, saveurs, etc). Marriott (1990) annonce cinq absences de séparations dans la pensée indienne aux points où la philosophie occidentale s'y attendrait : absence de séparation entre corps / esprit, expérience/raison, logique formelle/ logique matérielle, divine / humaine, naissance / renaissance. Là où la pensée indienne établit des distinctions, ce n'est pas entre ces domaines, mais au niveau plus profond des composés de chacun. Dans la pensée Jaïna, la matière n'est pas le seul composé existant (*astikâya*). Les

autres réalités espace, temps, mouvement et repos, ainsi que l'âme sont des composés. L'âme et la matière (*intérieurités* et *physicalité*) ont des ressemblances puisque l'on cherche à établir leurs unités composantes qui sont appelées des *pradeśas*. L'âme contient d'innombrables *pradeśas* (Masson, 1925). Dans l'Abhidharma bouddhiste, « l'impression d'amalgame subjectif-objectif est conforté par une surclassification : la catégorie des forces est mélangée : durée, pouvoir vital, conditionnements psychique, etc. (Bitbol, 2010, p.66). Les forces peuvent donc aussi bien être matérielles que spirituelles. La non-division se voit consacrer par le vocable *nāma-rūpa* (nom et matière ou nom et forme). Seuls les composés sont *murta* – doués de forme. Le nyaya-Vaiśeṣika s'évertue également à décrire les composés et qualités des éléments du monde, qu'ils soient matériels, spirituels ou ontologique (temps, espace, etc) (Rabourdin, 2012). Ces deux exemples de l'Abhidharma bouddhiste et du Nyaya-Vaiśeṣika brahmanique sont caractéristiques de l'absence de rupture qui existe dans l'ontologie naturaliste de sujet-objet, intérieur-extérieur, physique-psychique. Mais l'on retrouve cette absence de distinction ailleurs : dans les poèmes tamouls, la culture est enfermée dans la nature, la nature est retravaillée dans la culture, de sorte que nous ne pouvons pas faire la différence (Egnor, 1964).

1. Chaînes éparées de signification dans des ensembles ordonnés et interdépendants

Alors que l'on constate cette non distinction des intérieurités et physicalités, on ne peut que constater en revanche que la pensée indienne n'a eu de cesse de classer, ordonner, ranger les éléments du monde. Et la manière dont elle a mis en relation ces classifications peut surprendre un esprit naturaliste. Dans la pensée indienne, le domaine de la matière comprend les quatre éléments – eau, air, terre, feu- mais également parfois d'autres éléments non matériels comme *ākāśa*, le temps, l'âme ou l'espace, les facultés sensorielles et les objets de ces facultés comme le visible, l'audible, le tangible, etc. Parmi les écoles de pensée indienne, l'Abhidharma bouddhiste propose un inventaire des « éléments d'existence » très précis. « Ceux-ci sont regroupés souvent en cinq agrégats (*skandha*). Les agrégats comprennent « la matière sous différents aspects », « les sentiments ou sensations », les conceptualisations, les formations, la ou les consciences discriminatrices. Ce qui frappe à la lecture de ces termes, et qui rejoint ce que l'on vient de dire au sujet de la non distinction intérieurité/physicalité, c'est que la liste semble mélanger des éléments physiques, des éléments mentaux, et d'autres éléments (comme les formations) au statut incertain » (Bitbol, 2010). C'est aussi ce qui surprend face aux classifications des écoles de pensée du Vaiśeṣika et du Nyaya, où les 4 éléments s'élargissent au nombre de 9, dont l'âme et l'esprit, et où également, ils sont associés à une qualité spécifique (*viśeṣaguṇa*) (voir tableau 3). Des entités, qui paraissent incommensurables dans une ontologie naturalistes, sont mises sur un même ordre de correspondance, comme par exemple, l'espace et la capacité humaine d'entendre (l'ouïe).

Il existe bien d'autres listes classiques connues que celle des cinq «éléments» (*bhūta*). On trouve ainsi trois «énergies» (*guṇa*), trois "humeurs" (*doṣa*), trois + un buts de l'homme (*puruṣārtha*), quatre «classes» (*vara*), quatre "étapes" (*āśrama*), cinq «sens» (*indriya*), cinq «gaines» (*kośa*), six «saveurs» (*rasa*), huit + un "sentiments" (*blāva*), et ainsi de suite¹¹⁸.

¹¹⁸ Ces listes suggèrent un savoir spécialisé en métaphysique, biologie, morale, économie, physique, psychologie ou esthétique que l'Occident moderne localiserait dans des départements universitaires largement séparées, excluant toute possibilité d'un cadre conceptuel commun. Pourtant, toutes ces listes et d'autres ont été maintenues simultanément sur plusieurs siècles par un grand nombre d'Indiens même non spécialisés. Si Trawick (1974) a raison, ces listes décrivent ce qui est ressenti comme des domaines concentriques: différenciés, mais superposés,

« Des mesures binaires (tout-ou-rien) de la présence ou de l'absence totale d'un constituant s'appliquent rarement, des mesures analogiques ou proportionnelles seront généralement nécessaires pour exprimer la contribution de tous ces éléments qui sont à concevoir comme des variables. En outre, les rapports de force entre les variables dans chaque liste sont également variables : leurs utilisations dans leurs contextes respectifs montrent que chacun peut varier indépendamment des autres. » (Marriott, 1990, p.8). On peut définir chaque existant comme un mélange hétérogène, et de plus non permanent.

| <i>Elements</i> | <i>Humeurs</i> | <i>Qualité</i> | <i>Buts humains</i> |
|-----------------|----------------|----------------|--------------------------------|
| 1. ether | 1. vent | 1. Bonté | 1. coherence-incoherence |
| 2. air | 2. bile | 2. passion | 2. avantage-désavantage |
| 3. feu | 3. phlegme | 3. noirceur | 3. attachement-non attachement |
| 4. eau | | | + 1. Libération |
| 5. terre | | | |

Tableau 17 : Certaines listes classiques de Catégories (Marriott, 1990)

Les pensées indiennes partagent la conviction commune qu'il existe des substances grossières et des substances subtiles. Toute chose est « substantielle ». Même les substances immatérielles « telles que le temps ou l'espace affectent les autres choses, car toute chose est « substantielle » (*dhātu*). La seule différence est que certaines sont subtiles (*sūkṣma*), d'autres grossières (*sthūla*) » (Marriott, 1990, p.11). Et c'est justement cette présence de la substance qui relie des attributs de la physicalité à ceux de l'intériorité : « il y a une continuité, un courant constant, de la substance du contexte à l'objet, de l'absence d'identité (le soi) à l'identité dans la respiration, la digestion, l'acte sexuel, la sensation, la perception, la pensée, l'art ou l'expérience religieuse (Marriott, 1976) » (Ramanjan, 1989, p. 52).

2. Joindre le discontinu au continu

« Prenant acte de la segmentation générale des composantes du monde sur une échelle de petits écarts, l'analogisme nourrit l'espoir de tisser ces éléments faiblement hétérogènes en une trame d'affinités et d'attraction significatives ayant toutes les apparences de la continuité » (Descola, 1995, p.307)

Dans la pensée indienne, le donné primitif est toujours discontinu : le temps et l'espace ne sont continus que comme structurés, ils ne sont structurés que par la pensée dynamique et finalisée (Silburn, 1989). Tout acte vise à ordonner les instants et les éléments hétérogènes qui composent le réel. La pensée indienne n'a eu de cesse de questionner la discontinuité du monde et ce sujet a fait l'objet de vastes débats tout au long de l'antiquité indienne. L'un des éléments célèbres de ce débat est l'atomisme, l'Inde ayant, de manière fort ancienne –

congruents sur un ensemble sous-jacent commun de processus dont la complexité est inférieure à ce que ses nombreuses apparences suggèrent. Les congruences implicites des nombreuses couches – « gaines » (*kośa*), "Bodies" (*śarīra*), ou sur une plus grande échelle, les « sphères » (*lokas*) – de la réalité hindoue sont telles qu'aucun texte savant ni ethnographe ne semble avoir ressenti le besoin de nier aucun d'entre eux ou de fournir un ordre définitif. Différentes listes ou couches sont souvent comparées, habituellement deux par deux, et ensuite diversement, selon l'objectif (Ramanujan 1989)

probablement avant les Grecs¹¹⁹ - eu recours à cette notion d'atome. « Le terme qui désigne originellement en sanskrit cette «extrême petitesse» *paramānu*, s'emploie désormais avec l'acception d'atome; mais n'oublions pas que son sens propre est seulement « la ténuité maxima ». C'est l'atomisme qui justifie l'imbrication de l'âme et de la matière : « la possibilité d'insertion de corps matériels dans l'âme s'explique par l'exiguïté des éléments de la matière. A dire vrai, l'âme et l'atome s'opposent comme deux contraires, le grand et le petit; c'est en fonction de cette dualité, tantôt expresse, tantôt virtuelle, que l'atomisme hindou prend sa signification exacte » (Masson, 1925, p.366). L'orthodoxie brahmanique, comme la philosophie bouddhique se répartit entre deux groupes de systèmes : favorables ou hostiles à l'atomisme. Les principaux partisans du premier groupe sont, les Naiyâyikas et les Vaiśeṣikas; ceux du second les Sāmkhyas et les Vedântins. Cependant la scission ne se présente pas avec cette rigidité théorique; car le Nyāya-Vaiśeṣika s'est, à partir du Moyen Age, imposé à tout Hindou cultivé par sa doctrine de logique et d'épistémologie; par suite sa physique, qui en est solidaire, est devenue très familière à tout esprit indien, même partisan d'une métaphysique anti-atomiste » (Masson, 1925, p.360). Pourquoi l'atomisme ne s'est-il pas pour autant généralisé? L'idéalisme qui parcourt toutes les stratifications de la réflexion indienne, depuis les premiers âges, peut en être une explication. » Certaines idées essentielles à ce type de mentalité excluaient ou limitaient l'admission d'une physique corpusculaire. » Mais c'est aussi que les philosophies indiennes ont toutes admis un principe coextensif à la totalité de l'être (*vibhu*), une sorte de jointure entre le discontinu et le continu. » Ce n'est ni le plein, ni le vide de Démocrite, mais un agent de connexion intégrale, soit omniscient, soit omni-pénétrant. Un atomisme tel que celui des Grecs se trouvait donc inconcevable, même dans les réalismes jaina et Vaiśeṣika, qui en sont les moins éloignés » (Masson, 1925, p.365). Le cinquième élément – ou plutôt le premier- *Ākāśa* a eu pour but de relier le de manière continue les discontinuités du monde (Rabourdin, 2012). La continuité suggère une certaine unicité des phénomènes. La discontinuité au contraire suggère une individualité, une séparation. « La pensée indienne a sans cesse - comme la réflexion de notre Pascal – cherché son équilibre entre ces deux abîmes, qu'elle ait suivi la « voie moyenne » des Bouddhistes entre l'être et le non-être, ou qu'elle ait hésité à la façon brahmanique entre l'atomisme et le monisme » (Masson, 1925, p.368).

La mise en continuité du discontinu au continu se retrouve dans d'autres sphères de la pensée indienne. Ph. Descola rappelle que la notion de *K'i* chinoise permet de relier les éléments entre eux. Ce *K'i* n'a pas d'équivalent absolu en Inde, mais présente quand même de nombreux liens de convergence avec plusieurs concepts de la philosophie indienne tels que le *prāṇa*. Le lexique sanskrit répond à la mentalité synthétique de l'hindouisme qui utilise un seul mot pour signifier une réalité complexe, physique et métaphysique, spirituelle et matérielle. *Prāṇa* est une énergie vitale universelle qui imprègne tout, et que les êtres vivants absorbent par l'air qu'ils respirent. Il représente le principe de la vie, sa manifestation dans un souffle, et la réalité organique de la respiration. D'une manière similaire à *ākāśa*, le *prāṇa* permet de tisser un continuum entre des entités disjointes. Dans les textes médicaux indiens, le corps est un lieu de rencontre, une conjonction d'éléments (Zimmermann, 1979)

On constate donc une classification qui sépare les éléments constitutifs du monde (discontinu), mais une mise en relation qui abolit toute frontière entre les ordres de ces constituants (continuité). Ce trait est bien caractéristique de l'ontologie analogique même si l'Inde affiche des spécificités, tels que l'usage d'un élément « jointeur » *ākāśa*, ou l'impermanence des entités.

¹¹⁹ L'atomisme de Démocrite date du V-IV siècle av.J-C. L'atomisme indien remonte à Kanada, auteur présumé (et probablement mythique) des Vaiśeṣika-sutras, antérieur d'environ un siècle à Démocrite.

3. Dosage entre des éléments hétérogènes.

Toutes les écoles de pensée indienne font appel à la théorie des éléments, tout comme on peut en trouver en Chine, dans l'antiquité grecque – chez Empédocle par exemple – ou jusqu'à la Renaissance européenne¹²⁰. Dans de nombreux traités savants chinois anciens, toute nature est le résultat d'un dosage plus ou moins harmonieux et équilibré entre des éléments hétérogènes qui procèdent de l'eau, du feu, du bois, du métal, de la terre. Les éléments indiens (*bhûtas* ou *mahâbhûta*) sont au moins au nombre de quatre - eau, feu, terre, air - souvent au nombre de cinq – *âkâśa* en plus- et parfois plus. Malgré les ressemblances avec les quatre ou cinq éléments européens, « les éléments indiens se voient dénier l'un des traits cruciaux de la substance aristotélicienne puis kantienne : la permanence. Ils sont souvent identifiés à leurs propriétés qualitatives, ou à leurs manifestations (Bitbol, 2010). De plus il existe des éléments grossiers *bhûtas* et des éléments subtils *mahâbhûta*. Un « atome » de matière grossière renferme une énorme quantité d'« atomes » subtils. » Ces derniers sont des points exempts de toute multiplicité intrinsèque. Ces points renferment de quoi produire les qualités sensibles, caractéristiques des quatre éléments, dans les agrégats (*skandha*). Subtils ou grossiers, les éléments (*bhûtas*) sont les substances composant toute matière, ils permettent de penser le monde de manière continue, chaque objet du monde étant constitué d'un dosage de ces éléments. Ce trait caractéristique de l'ontologie analogique est donc bien présent en Inde, et de manière particulièrement forte. A noter tout de même que la non-permanence de ces mélanges est une spécificité propre à la pensée indienne dans le cadre de l'ontologie analogique – sans prétendre qu'elle n'existe pas dans d'autres contextes analogiques.

4. Usage de la position dans l'espace pour particulariser chaque existant.

En Chine ancienne et chez les Aztèques (peuple que Ph.Descola prend pour expliquer l'analogisme), l'espace n'est pas considéré comme une simple étendue résultant de la juxtaposition des parties homogènes, mais comme un ensemble de sites concrets servant au classement des êtres et des choses en vue de l'action. Ce n'est pas un trait qui semble à première vue caractéristique de la pensée indienne. Certes l'espace est un élément essentiel de la pensée indienne. L'espace, tout comme le temps –les contextes universels, les impératifs de Kant - ne sont en Inde ni uniformes, ni neutres, mais ont des propriétés, des densités spécifiques variables qui affectent ceux qui habitent en eux. Le sol dans un village, qui produit des cultures pour les habitants, affecte leur caractère (Ramanujan, 1989). Lorsque les directions des lieux sont données, les Indiens font toujours référence à d'autres lieux, des points de repère (Roland, 1979). Comme on l'a vu, l'espace sert davantage à relier les éléments discontinus. Les pensées indiennes ont toutes admis un principe coextensif à la totalité de l'être (*vibhu*) sous le vocable d'*Ākāśa* (traduit aussi inadéquatement par « espace » que par « éther »). Il ne s'agit ni du plein, ni du vide de Démocrite, mais un agent de connexion intégrale, soit omniscient, soit omni-pénétrant : un fluide, un agent plutôt que d'un simple réceptacle (Masson, 1925, Roubardin, 2012). Ce concept ne coïncide guère avec notre représentation de l'espace géométrique, dont ne diffère pas moins d'ailleurs la notion de *dis-*

¹²⁰ De manière *a priori* postérieure aux Upanishads au Vème siècle avant notre ère, le philosophe grec Empédocle postula quatre éléments : terre, air, feu, eau (Bose, 1971). Les a-t-il empruntés à l'Inde par des intermédiaires iraniens ? Il semble en tous cas que les Grecs aient transmis ces quatre éléments dans le monde musulman plus tard. Le monde céleste devait être constitué d'une matière extraordinaire incorruptible, parfaite : le 5ème élément, la quintessence. Un cinquième élément que reprendra Aristote, et qu'il appliquera aux corps célestes, extra-lunaires.

les directions selon les points cardinaux¹²¹. Le terme *pradeśa* que l'on a vu plus haut (direction, détermination, emplacement) enveloppe une connexion étymologique avec l'espace étendu, orienté (*diś*): il désigne particulièrement l'élément de spatialité ou l'emplacement d'un atome; mais il s'étend, d'une façon plus ou moins directe, aux autres sortes de composition. Ainsi, l'espace peut servir à particulariser chaque existant mais sert surtout à relier.

5. Nomadisme des entités

Toute entité étant, on l'a vu, faite d'une multiplicité de composantes sans permanence, le nomadisme de chacune d'entre elles devient spontané. Ce nomadisme des entités, du à une diversité de composants en équilibre instable, caractérise selon Ph. Descola, les ontologies analogiques. Comment se traduit se nomadisme ? « Transmigration des âmes, réincarnation, métempsychose et surtout possession signalent sans équivoque les ontologies analogiques. » (Descola, 2005). La théorie du karma et de la réincarnation est une constante dans la pensée indienne, même si elle subit de fortes variations selon les époques et les traditions philosophiques ou spirituelles. Ce n'est pas le lieu - et je n'ai pas les compétences - pour exposer les diverses théories du karma et de la réincarnation de la pensée indienne, mais il est incontestable qu'il s'agit d'un trait caractéristique de cette pensée, qui plus est, encore aujourd'hui. On a vu que les éléments (*bhūtas*) n'étaient pas substances figées ou locales, ils sont caractérisés par leur caractère non stable, dynamique, relevant davantage du processus que de l'état stable. Pour Marriot (1990) les « entités hindoues » (ce que l'on pourrait appeler « individus ») sont composites et divisibles et les relations interpersonnelles dans le monde sont généralement irrégulières et fluides, si ce n'est totalement chaotique. « Dans la pensée indienne, l'individu ne développe pas de sentiment de soi autonome délimité mais en relation avec le cosmos. Le cosmos indien est constitué de flux, d'échanges, d'interactions entre différents ordres: entre communautés et groupes et au sein de parties intérieures. Les frontières entre physique, psychologique, métaphysique social, pour le dire en termes occidentaux, sont beaucoup plus fluides (Tambiah, 1984, p.100). Les différents états intermédiaires imparfaits et inconstants sont à prévoir, et les processus, les états intermédiaires, plutôt que les structures fixes ou polarisée, sont à la base de tout (Marriot, 1990).

6. Analogie microcosme-macrocosme

D'après Ph.Descola, "notre corps offre un réservoir de particularités physiologiques si vaste qu'il eut été étonnant qu'on en eut point tiré parti afin de construire des réseaux d'analogie. Mais seules les ontologies analogiques ont su systématiser ces chaînes éparées de signification dans des ensembles ordonnés et interdépendants, orientés pour l'essentiel vers l'efficacité pratique: traitement de l'infortune, orientation des édifices, dispositifs divinatoires, compatibilité des conjoints, ... tout s'articule dans une trame si serrée qu'il n'est plus possible de savoir si c'est l'homme qui reflète l'univers ou l'univers qui prend l'homme comme modèle" (Descola, 2005, p302). Si l'ontologie analogique se nomme ainsi, c'est bien parce que l'analogie y est l'outil principal de mise en relation des interiorités et physicalités. Qu'est ce que l'analogie ? Une classe de situation qui semblent analogues l'une à l'autre c'est à dire obéissant à une loi commune : lorsqu'une certaine évolution a été observée, nous supposons que dans un cas qui nous semble similaire, la même évolution va se reproduire. L'analogie est un moyen de connaissance essentiel des écoles de pensée indienne. Celle du Nyaya (Vème

¹²¹ *diś*, l'espace géométrique formé à partir des directions des points cardinaux ne se différencie d' *Ākāśa* pas dans toutes les écoles de pensée, c'est surtout le cas dans la pensée du Vaiśeṣika.

siècle et suivants) - qui s'occupe particulièrement de définir les moyens de connaissance - précise les moyens de connaissance qui sont au nombre de quatre : perception, inférence, analogie et témoignage d'autorité. L'analogie est donc un moyen de connaissance au même titre que l'inférence (Belzille, 2011, 41). Il n'y a pas qu'en Inde où l'analogisme a servi comme moyen de connaissance. On pourra à juste titre estimer que les logiciens grecs ont aussi développé un recours à l'analogie. Mais pas comme mode prioritaire de connaissance. François Chenet estime que, contrairement à la philosophie qui naît en Grèce et qui privilégie l'intelligibilité de la cause, selon l'expérience, la philosophie indienne privilégie les analogies entre microcosme et macrocosme. (Chenet, 2013). C. Poggi soutient cette importance de l'analogie dans la pensée indienne « le tout (*sarvam*), l'univers et chacune de ses parties, est conçu comme un tissage (*tantra*) de flux (*nāḍī*) de conscience (*cit*) et de souffle (*prāṇa*). » (Poggi, 2012). Les sciences (*Śāstrā*) indiennes se sont calées sur l'analogie entre microcosme/macrocosme. Si l'astronomie se développait, estime J. Filliozat, c'était pour se conformer à l'ordre du monde, et si les mathématiques avançaient, c'était pour répondre aux besoins de cet ajustement du microcosme au macrocosme (Filliozat, 1957).

Nandy suppose que cet analogisme était facilité par la culture sanskrite avec son étude indifférente des frontières entre art, humanité et science, et entre les sciences dures de la nature et les sciences molles de la société. « Après tout la nature (*prakṛti*) n'est-elle pas dans cette culture de principes actifs mobiles et féminins du cosmos ? » (Nandy, 1995, p.102). *L'Arthava Veda* qui contient l'un des plus vieux systèmes détaillés de l'Ayurveda (médecine, science de la longévité) propose que les conceptions physiologiques s'établissent en fonction de la théorie d'une correspondance entre le corps, microcosme et la nature, macrocosme. Les mouvements des astres errants sont attribués à une force cosmique conçue sous la forme du vent selon une conception pneumatique qui attribue au *prāṇa* tous les mouvements dans la nature (macrocosme) et dans le corps humain (microcosme). D'après la philosophie ayurvédique, l'homme est fait de la même façon que l'univers autour de lui, autrement dit le microcosme (le corps humain) est ou une réplique, ou en correspondance avec le macrocosme (nature, univers). C'est pourquoi notre santé à tous les niveaux est reliée inextricablement au rythme de la nature et de l'univers, des saisons, des planètes.

Malgré l'importance de l'analogisme, comme on vient de le montrer, le terme même n'est pas le plus approprié pour décrire les mises en relation entre les différents éléments dans la pensée indienne. Il existe de nombreuses homologies ou métonymies entre les éléments des listes que nous avons vus plus haut et qui sont décrites par Marriott (1990). Dans le tableau 3, les homologies ou métonymies indiquées dans les colonnes entre l'élément «feu» et l'humeur «bile», l'élément «eau» et l'humeur «flegme», l'élément «air» et l'humeur «vent», est explicite dans l'ayurveda (par exemple, Caraka 1983, 12.11-12). La correspondance entre ces humeurs et les qualités respectives «noirceur», «passion», et «bonté» est également explicite dans les sections de l'ayurveda qui traitent de la santé psychologique (Caraka, 1983). «Métonymie» et «homologie» rendent plus précise l'idée d'analogie : par exemple entre «feu» et «bile», il existe des identités partielles – le partage de certaines propriétés, qui justifient son remplacement dans de nombreux contextes. Aussi, il s'agit de pouvoir décrire ce que ces entités – «feu», «bile», «passion», «attachement» – ont en commun. «Feu», «bile», et «attachement» sont un jeu métonymique mais appartiennent également à des couches distinctes, ils peuvent parfois être ressentis comme contradictoires, dissociables.

Cette forme d'analogie entre les entités se retrouve aussi au niveau des différentes formes de savoir. C. Guenzi s'intéresse à l'astrologie qui met en comparaison 6 catégories : techniques divinatoires, théories brahmaniques karma, ayurveda, cosmologies des Purāṇas, science moderne et biomédecine. Les pratiques de comparaison concernant ces différents savoirs montrent qu'il existe « plusieurs critères de « comparabilité » et que la relation de compatibilité entre l'astrologie et d'autres savoirs ne dépend pas nécessairement de critères

épistémologiques » (Guenzi, 2012, p.291). Dans le domaine de la *vyotisha*, la comparaison n'a pas vocation généralisatrice ni taxinomique, mais elle vise à établir une relation particulière – de ressemblance, de complémentarité, de supériorité, de contradiction etc. Il est à ce sujet intéressant de noter que l'un des savants les plus estimés d'Inde aujourd'hui reste J.C. Bose (Rabourdin, 2013). Vers 1920 le cœur du travail de Bose et de ses intérêts étaient de rechercher les similarités entre le vivant et le non vivant à travers un modèle qui pourrait expliquer les phénomènes physiques. C'est pour cette raison qu'il mesurait la pulsation de vie dans les objets inanimés, selon lui il n'y avait pas de rupture dans le processus vivant qui caractérise le monde inanimé et le monde animé (Nandy, 1995).

7. Répartition dans des grandes structures inclusives à deux pôles.

"Tout comme on trouve partout une correspondance entre microcosme et macrocosme il n'est sans doute aucune partie du monde où les humains n'aient cédé occasionnellement à la tentation de classer des choses selon qu'elles étaient réputées chaudes ou froides, humides ou sèches. Ces oppositions n'en deviennent pas pour autant de vastes systèmes inclusifs et explicatifs du type de ceux auxquels les ontologies analogiques ont recours afin d'ordonner la multiplicité des entités dont elles peuplent leur monde" (p.307). Deux types de nomenclatures sont très répandues dans les sociétés pré-Renaissance : celle opposant le chaud au froid et celle parfois combinée, celle opposant le sec à l'humide et elles constituent peut être les indices les plus immédiats pour identifier une ontologie analogique (Descola, 2005). Certes, il a été fait de nombreux rapprochements entre la médecine hypocratique basée sur la théorie des humeurs – et les oppositions binaires chaud/froid, humide/sec, etc- et la médecine ayurvédique indienne (Cardell, 1980). « Le sucré, l'amer et l'astringent sont dans la catégorie des aliments froids qui entraînent un refroidissement. L'acide, le salé et le piquant, nourritures chaudes, provoquent l'effet inverse. » (Preisendanz, 2007). Pourtant ce n'est pas la binarité qui caractérise la pensée indienne. En ayurveda, les typologies des individus reposent sur un mélange des trois *doṣa* (types de caractères physiologiques), et les aliments également. Et parmi les classements que nous avons vus plus haut, aucun ne contient moins de trois articles. Contrastant particulièrement avec le dualisme insistant des typologies occidentales: « trois semble être le nombre irréductible des propriétés ou des composants avec lesquels les hindous pensent confortablement les affaires humaines » (Marriott, 1990, p.8). Penser en termes de dualités est souvent condamné. Au moins trois termes sont toujours présents, toujours combinés.

Ainsi, des mesures binaires (tout-ou-rien) de la présence ou de l'absence totale d'un constituant s'appliquent rarement, des mesures analogiques ou proportionnelle seront généralement nécessaires pour exprimer la contribution de tous ces éléments qui sont à concevoir comme des variables. En outre, les rapports de force entre les variables dans chaque liste sont également variables : leurs utilisations dans leurs contextes respectifs montrent que chacun peut varier indépendamment des autres. Il n'est pas anodin que la pensée indienne ne soit pas binaire, car c'est une pensée du pluriel et de l'un, pas de la dualité. Elle pense en termes de complémentarité plus que d'opposition. C'est d'ailleurs souvent le rôle du troisième pôle : servir de processus intermédiaire, à l'image de *sattva* avec les deux autres *guṇa* – les « forces-énergies », dans la pensée du *Sāṃkhya* et du *Yoga*.

8. Préoccupation constante pour la conservation d'un équilibre sans cesse menacé

Avec toutes ces disparités impermanentes, l'équilibre du monde est difficilement stable. Pour Ph.Descola, c'est ce qui justifie « la nécessité de maintenir actifs les canaux de communication qui assurent stabilité et bon fonctionnement. Cela exige une attention

maniaque au respect d'un faisceau d'interdits et de prescriptions si contraignants qu'ils requièrent généralement le recours de spécialistes versés dans l'interprétation des signes et l'exécution correcte des rituels en même temps que de techniques de lecture du destin telles l'astrologie ou la divination (ou numérologie) » (Descola, 2005, p 307). Dans le cas de l'Inde, l'équilibre sans cesse menacé est représenté par Shiva-Naṭarāja, symbole de la destruction et du renouvellement. Dans l'univers indien, la danse de Shiva-Naṭarāja représente la composition unifiée et dynamique des cycles cosmiques de destruction et régénération. Le « cosmos dansant » est constitué d'une myriade de rythmes et de mouvements, participant d'une trame continue intégrant tous les phénomènes ; au sein de ce continuum la différenciation est comprise en termes de degrés ou catégories de réalité (*tattva*) inter-reliés (Poggi, 2012). L'équilibre de la nature se verbalise en sanskrit avec la notion de *ṛta* ("r" semi-voyelle se prononce "rri") qui demande donc que soient mis en place des rituels (on remarque dans « rituel », la même racine sémantique *Rta*)¹²². D'après M.K.Mariott, les différents états intermédiaires imparfaits et inconstants sont caractéristiques des modes de pensée indiens, et donc « les processus, les états intermédiaires, plutôt que les structures fixes ou polarisée, sont à la base de tout » (Marriott, 1990, p.18). En plus de l'importance accordée aux rituels et aux prédictions astrales, ce souci du déséquilibre se traduit en Inde par la subordination de la place de chaque individu ou classe d'individus dans une hiérarchie globale transcendante. Chaque personne et chaque acte rentre dans un modèle de distribution qui entraîne de nombreuses obligations et interdits. La hiérarchie des castes, par exemple, traduit le fait que chaque classe reproduise au niveau des unités qui la composent le modèle de distribution dont elle est elle-même un résultat (Dumont, 1966).

9. Les symboles permettent de coder la réalité dans une grille herméneutique.

Comment maîtriser la complexité de la gestion de ces équilibres entre ces catégories et ces relations ? Il apparaît sans hésitation que le recours aux symboles permet de faire correspondre efficacement les analogies et d'ordonner le monde. C'est un des critères de l'ontologie analogique telle que l'a définie P. Descola : les symboles permettent de coder la réalité - mécanismes semi automatiques de comput et de combinaison, dispositifs divinatoires, astrologie, numérologie. En Inde, ces symboles reposent sur une grande maîtrise de la science du langage (sanskrit en particulier) et celle des chiffres (*granita*). Ensuite, c'est le rôle de l'astrologie mais aussi de la numérologie - qui restent très prisés en Inde - d'assurer les computs nécessaires. Ph. Descola souligne également le recours à des artefacts qui réduisent un cosmos trop complexe dans des figures manipulables. Ce sont par exemple les *yantra* (voir fig.1) et les mandalas. La fonction du *mandala* est de rendre « visible » au pratiquant le sens inexprimé d'une réalité, lui permettant ainsi d'entrer en contact avec le *prāṇa* de l'image, symbolisé par les lignes diagonales. Mais ces symboles qui permettent de coder la réalité sont aussi et surtout les chiffres dont la forme que nous utilisons actuellement vient d'Inde - et non pas des Arabes qui en ont été surtout les transmetteurs¹²³. A l'origine chaque chiffre correspondait à éléments du corps ou de la nature : 3 yeux, 7 montagnes, 9 planètes, 5 sens et 5 éléments, etc. (Serre, 1997, 4). "Les chiffres et leurs interrelations - arithmétique, géométrique, algébrique - étaient partie d'un ordre mythique et cognitif " (Nandy, 1995, p 102). Ils constituaient un langage, une grammaire qui ne pouvaient être formalisée sans règles sacrées. Il y a peu de doutes que le système de numération que nous utilisons actuellement provienne d'Inde et qu'il soit lié à la langue sanskrite, qui possède des caractères très logiques, adaptés au raisonnement mathématique (Ifrah, Bellos, 2000). Le texte le plus ancien connu au

¹²² Comme Renou (1950) le souligne, *ṛta*, habituellement traduit par «saison», signifie articulation du temps.

¹²³ Le système de numérotation à base 10 « inventé » par les Indiens fut ensuite utilisé par les Arabes qui eux même le transmirent aux européens bien plus tard (qui alors utilisaient le système romain).

monde qui utilise le zéro est un texte jain Lokavibhaaga, daté de 458 ap J.-C. Ce concept de zéro combiné au système de numérotation à base 10 devint la base de l'ère classique des mathématiques indiennes. La tradition sanskrite ne considère pas les connaissances mathématiques comme fournissant une norme unique de certitude épistémique (Chenet, 2013). En philosophie et logique sanskrite, les idées sur le raisonnement et la réalité sont explicitement liées à la compréhension des formes linguistiques de la grammaire (*vyākaraṇa*). D'après Ph. Descola, ce classement/regroupement des choses motive une prolifération sans pareil de découpages de l'espace ou de durée et surtout cycles longs de généalogie. Dans le cas de l'Inde, on trouve surtout des découpages dans le temps, plus que dans l'espace et en particulier à travers la notion de cycles (*yuga*). Le temps ne s'affiche pas en unités homogènes : certaines heures de la journée, certains jours, certaines semaines, etc. "sont de bon augure ou de mauvais augure (*rāhukālā*); certaines unités de temps (*yuga*) révèlent certains types de maladies, de politique, de religions (Ramanujan, 1989). La doctrine des âges du monde conçoit un temps dynamique rythmé est secoué de crises périodiques de destruction et de renouvellement. C'est une conception où toutes les fins sont relatives, où la perfection comme la déchéance sont à la fois derrière et devant nous. Le nombre d'années contenant une somme entière de jours solaires moyens est de 432000 ans et représente la *Grande Période*. Elle est divisée en quatre âges appelés également période (*yuga*). Selon des spéculations non astronomiques sur le déclin du bon ordre moral et cosmique au cours du temps, les quatre âges sont considérés comme inégaux en perfection et en durée. Du premier au dernier, l'âge actuel, les proportions de leur durée sont 4, 3,2 et 1, le dernier *kaliyuga* a donc une durée actuellement en cours de 432000, soit 1/10 de la grande année. Il a commencé le 18 février 3102 avant Jésus-Christ à 0 h. La musique classique du nord et du sud a ses moments appropriés prescrits. Comme les poèmes tamouls, les genres et les humeurs sont associés à certaines heures de la journée et périodes de la saison. Le système indien des talas, l'échelle de temps rythmique de la musique classique indienne possède également une complexité mathématique extrême¹²⁴ (Alvares, 1980, 70).

Le *vastu vidyā* - encore enseigné dans certaines universités publiques comme la Mahatma Gandhi University - est un art dont le but est d'harmoniser l'énergie environnementale (*Prāṇa*) d'un lieu de manière à favoriser la santé et le bien-être de ses occupants. Cette science utilise chiffres et nombres pour établir la liaison entre microcosme et macrocosme, pour établir le rapport entre corps célestes et activités humaines. Les chiffres – de 1 à 9 – sont considérés comme des agents divins dont chacun correspondait à l'une des 9 planètes principales ainsi qu'à ses énergies et vibrations cosmiques invisibles.

L'astrologie (*jyotiṣha*) a été une discipline majeure des sciences indiennes et occupe encore une place prépondérante en Inde. Elle permet de prévoir la compatibilité des conjoints, la programmation des dates importantes, etc. Elle est même enseignée dans certaines universités publiques. Le travail de l'astrologue du Jyotiṣha repose sur l'idée que l'être humain est connecté à l'univers. Chaque symbole, *karaka*, est un « significateur » d'un domaine de vie. Les calculs sont fondés sur les multiples du « cycle primordial » de trois *gūṇa* (forces, énergies) qui donne naissance aux 9 *grahas* (planètes), aux 12 *bhāvas* (maisons) et aux 27 *nakṣatras* (constellations lunaires).

¹²⁴ La notion de rythme est très évoluée et sans doute la plus savante du monde. Les rythmes (*tāla*) sont toujours complexes (à 16, 14, 12, 10, 8, 7 ou 6 temps pour les plus courants) et à l'intérieur de chaque temps des subdivisions, des contretemps, des battements placés légèrement avant ou après le temps permettent des arabesques d'une extrême subtilité.



Figure 11 : Les symboles comme ce Sri Yantra permettent une représentation emblématique de l'univers. Les trois triangles représentent la division tripartite dans la terre, l'atmosphère et le soleil, qui se reflète dans l'individu par le corps, le souffle, et la conscience. Au sein de chaque triangle se trouvent des sous-triangles, avec alternance de polarité opposée qui représente les principes masculin et féminin. A cela s'ajoutent 9 triangles qui, à travers leurs chevauchements constituent un total de 43 petits triangles. Au centre, le point - le bindu - le témoin, ou la conscience.

10. Chaîne de l'être

La « chaîne de l'être » est un type particulier de classement que l'on trouve, d'après Ph.Descola, dans les ontologies analogiques. « L'échelle des entités du monde paraît continue, chaque élément trouvant sa place dans la série parce qu'il possède un degré de perfection à peine plus grand que celui de l'élément auquel il succède et à peine moins grand que celui de l'élément qui le précède » (p. 283). On peut déjà signaler que l'Inde, tout comme l'Europe a conçu des « échelles des êtres », des classifications de plantes, d'animaux, d'humains et d'autres types - qui ont par exemple, des degrés de valeur dans le système du *karma*, le cycle des causes liées à l'existence. Dans les textes de l'*ayurveda* – la science de la vie - on trouve nombre de hiérarchies d'êtres d'histoire naturelle : plantes, animaux, essentiellement liés à leurs vertus nourricières. Il est sans doute possible de retrouver dans les autres cosmologies ou ontologies distinguées par Ph.Descola ce genre de propriétés sémantiques que l'analogisme exploite si bien. « Ce n'est pas très compliqué pour le naturalisme dont les grandes classifications exploitent tout autant les propriétés du champ conceptuel : la classification zoologique, par exemple, ordonne, elle aussi, le règne animal en une hiérarchie qui peut, comme la chaîne des êtres, se parcourir de haut en bas comme de bas en haut. (Le Bot, 2010) ». Zimmermann (1982) explique pourtant qu'il s'agit de « deux styles de pensée, deux traditions très différentes : la tradition grecque et latine au sein de laquelle le thème de l'échelle des êtres s'est déployé en d'immenses tableaux d'Histoire naturelle, et la tradition hindoue au sein de laquelle ce thème n'est assurément pas moins important que chez nous puisqu'il détermine l'échelle des réincarnations et le régime des castes, mais qui néanmoins ignore l'Histoire et les sciences naturelles » (Zimmermann, 1982). Dans la pensée indienne, les êtres sont classés selon leurs mérites et selon leur aptitude ou leur inaptitude à pratiquer les rites (Zimmermann, 1982). Pour Houben, si Zimmermann a réussi à démontrer en détail cette différence entre Occident et Inde quant à la chaîne de l'être, il importe de souligner qu'il existe une idée de hiérarchie dans le Sâmkhya : hiérarchie dans l'évolution de l'univers sur la base de la continuité de *prakṛti* "la Nature". « Pour Aristote aussi bien que pour le Sâmkhya, la hiérarchie fait une distinction insurmontable entre (a) l'homme et (b) les animaux et plantes, et place le premier au dessus des derniers. » (Houben, 2009, p. 13). L'absence d'histoire naturelle en Inde classique pourrait venir des idées de hiérarchie et de continuité. Comme nous l'avons vu, la continuité, pose entre les êtres naturels, des transitions insensibles et quasi-continues.

Il est impossible de ne pas signaler que la « chaîne de l'être » présente également une très forte homologie de structure avec le système des castes décrit par Dumont (1966). Rappelons que Dumont définit le système des castes comme un système de différences formelles, un groupe complexe, un emboîtement de groupes de divers ordres ou niveaux, où des fonctions différentes (profession, endogamie, etc.) s'attachent à des niveaux différents. (Dumont, 1966). Au-delà de la question des castes, il faut savoir qu'il existe une forte préoccupation générale hindoue pour la *jāti* : la logique des classes, de genres et d'espèces, dont les *jāti* humains sont seulement un exemple. Diverses taxonomies de saison, paysage, temps, *guṇa* ou qualités, goûts, émotions, essences (*rasa*), etc, sont la base de la pensée travaux de la médecine hindoue et la poésie, la cuisine et la religion, l'érotisme ou la magie. Chaque *jāti* ou classe définit un cadre, une structure de pertinence, une règle de combinaisons autorisées, un cadre de référence, une méta-communication de ce qui est et qui peut être fait (Ramanujan, 1989). C'est l'un des éléments qui caractérisent les « chaînes des êtres » indiennes, qui ne peuvent s'envisager sans règles de combinaison autorisées.

Conclusion

Malgré le formidable travail réalisé par Ph.Descola dans sa tentative de classer les pensées humaines en quatre types d'ontologie, de nombreux travaux restent à faire pour établir l'adhésion d'une pensée particulière à l'une ou l'autre de ces ontologies. C'est dans cet objectif que nous avons voulu nous intéresser au cas de l'Inde et il ressort que la pensée indienne peut effectivement être affiliée à l'ontologie analogique, mais avec cependant un nombre non négligeables de spécificités qui lui sont propres : importance de l'intermédiaire entre le continu/discontinu, refus de l'opposition duelle, non permanence des entités ou variation de la chaîne des êtres.

L'ontologie scientifique-naturaliste et l'ontologie analogique ne sauraient bien sûr se limiter à une aire géographique ou à une époque particulière. « Ce sont là des possibilités de l'esprit humain qui restent, partout, à la disposition de tout locuteur ». (Le Bot, 2010) Mais nous venons de voir que l'on peut rattacher certaines de ces ontologies à des formes culturelles de pensées, comme l'a fait Ph.Descola avec les Aztèques. Il faut bien sûr se garder d'associer l'ontologie analogique à tout Indien, de même qu'il faut se garder d'associer une pensée naturaliste à tout scientifique. Rien n'empêche une scientifique d'être en balance entre plusieurs ontologies selon les contextes dans lesquels il évolue. Pour Ph.Descola, si une ontologie devient dominante dans telle ou telle situation historique, l'explication doit être recherché du côté des institutions qui encadrent leur existence comme des automatismes acquis au fil du temps (Descola, 2005, p. 322). L'étude que nous venons de mener a permis d'enrichir la question du style de pensée indien, et propose de nouveaux éléments pour des études ultérieurs dans des champs aussi vastes que la sociologie de la connaissance, l'histoire des sciences ou l'anthropologie des sciences. En bilan de cette analyse, il est possible de conclure que la tentative de mise en relation de la diversité du monde est un caractère historique de la pensée indienne. Il est donc possible d'annoncer une forme de généralité, malgré la grande diversité des écoles de pensées indiennes. La question qui demeure essentielle peut donc être posée : comment cette pensée « analogique » survit-elle en Inde aujourd'hui ? Les individus, en particuliers ceux qui sont confrontés à des contextes scientifiques – naturalistes - et des contextes traditionnels– analogiques - superposent-ils ces différemment schèmes intégrateurs ? C'est à cette question qu'il s'agit de répondre à présent.

Bibliographie

- Alvares, Claude Alphonso. *Homo Faber: Technology and Culture in India, China, and the West from 1500 to the Present Day*. The Hague; Boston; Hingham : M. Nijhoff Publishers, 1980.
- Bitbol, Michel. *De l'intérieur du monde pour une philosophie et une science des relations*. Paris: Flammarion, 2010.
- Belzile, Jean-François: *Vaincre et Convaincre : Une Dialectique Indienne de La Certitude (IIIe-VIIe S.), Son Éthique et Sa Comparaison Avec La Dialectique Grecque*. Québec: Presses Universitaires de Laval, 2009.
- Caraka, Agniveśa's *Caraka Saṃhitā* (trans. Ram Karan Sharma and Vaidya Bhagwan Dash). Vol. 1, *Sūtra sthāna*. Varanasi: Chowkhamba Sanskrit Series Office, 1983.
- Chenet, François, "Philosophie indienne et philosophie occidentale : bilan comparatif" : Conférence publique organisée par la Société Rhodanienne de Philosophie, Lyon, mars 2013.
- Descola, Philippe. *Par-delà nature et culture*. Paris: Gallimard, 2005.
- Dumont, Louis. *Homo Hierarchicus : Essai Sur Le Système Des Castes*. Paris: Bibliothèque des sciences humaines, 1967.
- Egnor, Margaret T. *Principles of Continuity in Three Indian Sciences* (p. book). Chicago : University of Chicago, 1974.
- Fillozat, Jean, *Histoire générale des sciences [T. 1], [T. 1]*, dir Taton, René. Paris: Presses universitaires de France, 1957.
- Gagnepain, Jean. *Du vouloir dire. Traité d'épistémologie des sciences humaines. Tome 1. Du signe. De l'outil*, Bruxelles : De Boeck Université, Raisonsances, 1990.
- Guenzi, Catharina, *Faire des sciences sociales*. Paris: Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales, 2012.
- Houben Jan E.M, « Penser les êtres – plantes et animaux – à l'indienne » ; Penser, dire et représenter l'animal dans le monde indien, Bibliothèque de l'École des Hautes Etudes, t. 345, sous la dir. de N. Balbir et de G.-J. Pinault. Paris : Champion, 2009,
- Ifrah, Georges ; Bellos, David. *The Universal History of Numbers: From Prehistory to the Invention of the Computer*. New York: Wiley, 2000.
- Kakar, Sudhir. *Moksha, Le Monde Intérieur, Enfance et Société En Inde*. Paris: Les Belles lettres, 1985.
- Le Bot Jean-Michel, « Les schèmes d'identification : ontologie ou ontonomie ? Retour sur le livre de Philippe Descola, Par-delà nature et culture », *Tétralogiques*, n° 18, 2010, p. 151-176.
- Marriott, McKim, ed. *India through Hindu categories. Contributions to Indian sociology, Occasional studies*, New Delhi : Sage Publications, 1990.
- Marriott, McKim. "Hindu transactions; diversity without dualism". In Bruce Kapferer, ed., *Transaction and meaning: directions in the anthropology of exchange and symbolic behavior*, pp. 109--42. Philadelphia: Institute for the Study of Human Issues, 1976.
- Cardell, Monique., 2 volumes. Parallèle entre la médecine ayurvédique et la médecine hippocratique, Thèse de doctorat, Université d'Aix -Marseille, 1980
- Masson-Oursel, Paul. « L'atomisme indien ». *Revue Philosophique de la France et de l'Étranger*, 99, 342–368. 1925.
- Nandy, Ashis. *Alternative Sciences: Creativity and Authenticity in Two Indian Scientists*. Oxford : Oxford University Press, 1995.
- Poggi Colette, *L'espace Irradiant, Âkâsha*, Conférence internationale organisée par SARI (Société d'Activités et de Recherches sur les mondes indiens) et le CICC (secteur Commonwealth) à l'Université de Cergy-Pontoise 31 mai 2012 salle des thèses (chênes 2) & 1 juin 2012. Actes à paraître.
- Preisendanz, K. "The Initiation of the Medical Student in Early Classical Āyurveda: Caraka's Treatment in Context." in: B. Kellner et al. (eds.), *Pramāṇakīrti. Papers Dedicated to Ernst*

Annexe 16. La pensée indienne ancienne, analogique ? Eléments de réflexion sur la pensée analogique selon P. Descola, appliquée au cas de l'Inde ancienne.

- Steinkellner on the Occasion of his 70th Birthday. Wien: Arbeitskreis für Tibetologie und Buddhismuskunde, 629–668, 2007.
- Rabourdin, Sabine, Akasa dans le Vaiśeṣika, Regard sur une théorie substantielle de l'espace dans une école de pensée logique de l'Inde, mémoire de recherche M2 HPDS, Université Lyon 1, 2012. Actes de la Conférence internationale organisée par SARI (Société d'Activités et de Recherches sur les mondes indiens) et le CICC (secteur Commonwealth) à l'Université de Cergy-Pontoise 31 mai 2012 & 1 juin 2012. A paraître.
- Ramanujan, a. K. Is there an Indian Way of Thinking? An Informal Essay. Contributions to Indian Sociology, 23(1), 41–58, 1989
- Renou, Louis. La Civilisation de l'Inde Ancienne : D'après Les Textes Sanskrits (Champs). Paris: Flammarion, 1950.
- Roland, Alan. *In search of the self in India and Japan: toward a cross-cultural psychology*. Princeton: Princeton University Press, 1979.
- Schotte, Jean-Claude. La raison éclatée. Pour une dissection de la connaissance, Bruxelles : De Boeck, 1997.
- Sen, Amartya. The Argumentative Indian: Writings on Indian History, Culture, and Identity. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2005.
- Serre, Michel, La légende des sciences, documentaire scientifique, Paris : Arte, 1997.
- Silburn, Lilian. Instant et Cause : Le Discontinu Dans La Pensée Philosophique de l'Inde. Paris : De Boccard, 1989.
- Tambiah, Stanley Jeyaraja. Magic, Science, Religion and the Scoope of Rationality. Cambridge : Cambridge university press, 1984.
- Zimmermann Francis, O. La jungle et le fumet des viandes, Paris : Hautes Etudes, Gallimard, Le Seuil, 1982.

Table des illustrations des annexes

| | |
|--|-----|
| Tableau 1 : réponses des physiciens français aux différentes questions utilisées pour les themata, ainsi que des questions traitées dans la thèse mais qui n'ont pas servi à élaborer des themata. Les groupes de couleurs correspondent aux blocs thématiques : les questions sont sous les themata correspondants. | 14 |
| Tableau 2 : réponses des physiciens indiens aux différentes questions utilisées pour les themata, ainsi qu'aux autres questions traitées dans la thèse. Les groupes de couleurs correspondent aux blocs thématiques : les questions sont sous les themata correspondants... | 15 |
| Tableau 3: grille de réponses aux questions pour la détermination du degré d'adhésion aux différents themata, pour les deux groupes de physiciens Indiens et Français. Ces chiffres sont repris dans les diagrammes du chapitre IV. Chaque couple thématique est représenté par un blocs de questions et une couleur. Chaque thema du couple se voit attribuer un degré (1 ou -1) et les réponses à chacune des questions qui l'alimentent sont aussi évaluées en fonction de leur affinité avec le thema (1 ou -1, 0 pour la neutralité). Le coefficient d'adhésion est calculé en élaborant la moyenne sur l'ensemble des réponses aux différentes questions d'un bloc thématique. | 17 |
| Tableau 4: Résultats de l'enquête de Sommer, Schlosshauer, M., Kofler, J., & Zeilinger (S,K,Z) et Norsen et Nelson, concernant le rôle de l'observateur en physique quantique. | 20 |
| Tableau 5 : Mise en perspective des réponses dans le cadre des différentes enquêtes en 2013 (voir références ci-dessus) par rapport à la question posée sur le caractère aléatoire des événements quantiques : « Que nous apprend l'observation expérimentale des violations des inégalités de Bell ? » | 21 |
| Tableau 6: Synthetic table of thematic inclinations of the four main interpretations of quantum mechanics | 35 |
| Tableau 7: Flow of students from China and India to USA and vice-versa. Kumar, Naresh, International flow of students – An analysis related to China and India, Current Science, Vol. 94, No. 1, PP. 34-37, 2008 | 110 |
| Tableau 8 : Face à la question « un fait, en science, peut-il être vrai et faux en même temps », ceux qui acceptent la dualité et ceux qui se rangent du côté du tiers exclu sont dans une répartition similaire entre physiciens indiens et français. | 114 |
| Tableau 9 : réponses classées en pourcentage à la question « considérez vous l'astrologie comme une science ? ». Nous remarquons que les Indiens sont encore plus frileux que les Français à considérer l'astrologie comme une science. | 119 |
| Tableau 10: on remarque une inclination vers la non matérialité de la conscience chez les physiciens indiens. Il ne faut pas négliger dans l'interprétation de ces réponses le fait que certains "non matérialistes" n'osent pas avouer leur croyance, à cause de l'institutionnalisation du matérialisme dans le milieu académique que souligne Baruss (2008, p289)..... | 128 |
| Tableau 11 : répartition des réponses des physiciens à la question « Est-ce que la religion ou la spiritualité et la science sont concernées par des questions communes ? ». Pourcentages établis sur un total de 32 réponses de physiciens français et 22 de physiciens indiens. Le faible nombre de physiciens s'explique parce que les réponses avaient fini par être systématiquement les mêmes comme on va le voir ci-dessous. Concernant les physiciens indiens interrogés, la religion et la science ne s'opposent pas car elles ne sont pas concernées par des éléments communs, ils sont une très large majorité à aller dans ce sens. Ce n'est pas le cas pour les Français, la majorité estime que la science et la religion sont concernées par des éléments communs et s'opposent le plus souvent sur ces éléments..... | 132 |
| Tableau 12 : répartition des réponses à la question « croyez vous en la réincarnation ? ». ... | 138 |

| | |
|---|-----|
| Tableau 13 : répartition des réponses des deux groupes de physiciens indiens et français, à la question : les mathématiques sont-ils un outil créé par les humains ou bien, une réalité indépendante ?..... | 141 |
| Tableau 14 : Pourcentage des réponses issues des entretiens (35 physiciens français, 35 physiciens indiens). Ce qui ressort des chiffres du tableau est que le concept de symétrie est bien plus important pour les physiciens indiens que pour les physiciens français. En effet, les physiciens indiens le jugent davantage nécessaire à la validité d'une théorie ; et davantage de physiciens indiens sont d'accord avec la proposition d'Heisenberg de remplacer le concept de particule fondamentale par celui de symétrie fondamentale. | 161 |
| Tableau 15 : Pourcentage de réponses apportées à la question : « La nature vous paraît-elle ordonnée ou chaotique » ?..... | 162 |
| Tableau 16 : les formules autorisées par la combinaison de l'intériorité et de la physicalité sont très réduites : face à un autrui quelconque, humain ou non humain, je peux supposer soit qu'il possède des éléments de physicalité et de d'intériorité identiques aux miens, soit que son intériorité et sa physicalité sont distinctes des miennes, soit encore que nous avons des intériorités similaires et des physicalités hétérogènes, soit enfin que nos physicalités sont analogues et nos intériorités différentes. | 178 |
| Tableau 17 : Certaines listes classiques de Catégories (Mariott, 1990)..... | 181 |