



**HAL**  
open science

# Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences

Jean-Yves Cariou

## ► To cite this version:

Jean-Yves Cariou. Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences. Education. Université de Genève, 2009. Français. NNT: . tel-00521174

**HAL Id: tel-00521174**

**<https://theses.hal.science/tel-00521174v1>**

Submitted on 26 Sep 2010

**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.



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

**FACULTÉ DE PSYCHOLOGIE  
ET DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION**

Section des Sciences de l'Éducation

Sous la co-direction d'André Giordan et de Jack Guichard

---

# Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences

## **THESE**

Présentée à la  
Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation  
de l'Université de Genève  
pour obtenir le grade de Docteur en Sciences de l'Éducation

par

Jean-Yves CARIOU

de

Paris

Thèse No 429

GENEVE

Janvier 2009



**Jean-Yves CARIOU**

Former l'esprit scientifique en privilégiant  
l'initiative des élèves dans une démarche  
s'appuyant sur l'épistémologie  
et l'histoire des sciences

Directeurs de thèse

**André GIORDAN et Jack GUICHARD**

Jury

---

François Audigier, professeur FPSE, Université de Genève, didactiques des sciences sociales

André Giordan, professeur FPSE, Université de Genève, Laboratoire de Didactique et d'Épistémologie des Sciences

Gabriel Gohau, docteur d'État en Histoire des Sciences, président du Comité Français d'Histoire de la Géologie, chercheur associé à RESHEIS, CNRS-Paris VII

Jack Guichard, Professeur des universités, directeur du Palais de la Découverte, Paris

Francine Pellaud, docteur en Sciences de l'Éducation, FPSE, Université de Genève, Laboratoire de Didactique et d'Épistémologie des Sciences



# SOMMAIRE GÉNÉRAL

|   |   |                |
|---|---|----------------|
| <b>INTRODUCTION</b>   |   | <b>6</b>       |
| <b>1. ÉTAT DE LA QUESTION : ESPRIT SCIENTIFIQUE, DÉMARCHES SCIENTIFIQUES ET TRADITIONS ÉPISTÉMOLOGIQUES</b> |   | <b>10</b>      |
|   | 1.1. État actuel de l'enseignement  | 11             |
|   | 1.2. Analyses historiques et épistémologiques des démarches scientifiques | 59             |
|   | 1.3. Les démarches pédagogiques sous le signe des démarches scientifiques | 191            |
|   | 1.4. Une illusion méthodologique durable                                  | 239            |
|   | 1.5. Une formation de l'esprit par les sciences                           | 247            |
| <b>2. PROBLÉMATIQUE</b>   |   | <b>266</b>     |
|   | 2.1. De l'épistémologie à la didactique                                   | 266            |
|   | 2.2. Déconstruction d'OHERIC  | 276            |
|   | 2.3. Des modèles didactiques fondés sur l'épistémologie                   | 285            |
|   | 2.4. Hypothèse sur un outil : "DiPHTeRIC"                                 | 291            |
|   | 2.5. Le jeu des possibles   | 304            |
| <b>3. MÉTHODOLOGIE</b>  |   | <b>305</b>     |
|   | 3.1. Stratégies de recueil et de traitement des informations              | 305            |
|   | 3.2. Consignes et documents fournis aux enseignants collaborateurs        | 319            |
|   | 3.3. Mise en œuvre de la recherche  | 324            |
| <b>4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS</b>  |   | <b>327</b>     |
|   | 4.1. Analyse globale des questionnaires élèves                            | 327            |
|   | 4.2. Analyse des réponses aux tests                                       | 333            |
|   | 4.3. L'évolution des élèves vue par les enseignants                       | 348            |
|   | 4.4. Résultats d'autres travaux utilisant notre outil                     | 349            |
|   | 4.5. Bilans et limites  | 354            |
| <b>5. PROLONGEMENTS ET PERSPECTIVES</b>   |   | <b>356</b>     |
|   | 5.1. Le Pentagone des Ambitions   | 356            |
|   | 5.2. Des aides pour l'enseignant  | 359            |
|   | 5.3. D'autres approches pour l'axe 1 (investigations des élèves)          | 363            |
|   | 5.4. Histoire des sciences et épistémologie (axe 3)                       | 366            |
|   | 5.5. Exercice social de l'esprit scientifique                             | 373            |
| <b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b>  |   | <b>377</b>     |
| BIBLIOGRAPHIE   |   | 381-393        |
| <b>ANNEXES</b>  |   | <b>394-570</b> |

# SOMMAIRE DÉTAILLÉ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCTION</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1. ÉTAT DE LA QUESTION : ESPRIT SCIENTIFIQUE, DÉMARCHES SCIENTIFIQUES ET TRADITIONS ÉPISTÉMOLOGIQUES</b> | <b>10</b> |
| <b>1.1. État actuel de l'enseignement</b>   | <b>11</b> |
| <b>1.1.1. Une demande officielle</b>  | 11        |
| <b>1.1.2. Constats provenant de la recherche en didactique</b>  | 14        |
| 1.1.2.1. À trente ans de distance   | 14        |
| 1.1.2.2. Analyses de séquences  | 20        |
| 1.1.2.3. Ailleurs dans le monde   | 23        |
| 1.1.2.4. Dogmatismes <i>versus</i> libre émission d'hypothèses  | 28        |
| <b>1.1.3. Constats d'origine institutionnelle</b>   | 35        |
| 1.1.3.1. Enquêtes internationales   | 35        |
| 1.1.3.2. Rapports nationaux   | 39        |
| 1.1.3.3. Constats d'inspecteurs (2008)  | 44        |
| <b>1.1.4. Les causes d'un échec</b>   | 48        |
| 1.1.4.1. Contraintes et difficultés   | 48        |
| 1.1.4.2. L'épistémologie inductive des séquences de sciences  | 51        |
| 1.1.4.3. Des résistances  | 54        |
| 1.1.4.4. Déviations du sens des mots  | 54        |
| 1.1.4.5. La peur des cheminements aventureux  | 56        |
| <b>1.2. Analyses historiques et épistémologiques des démarches scientifiques</b>                            | <b>59</b> |
| <b>1.2.1. Le débat épistémologique</b>  | 61        |
| 1.2.1.1. À l'origine de la méthode expérimentale : Dogmatiques <i>versus</i> Empiriques                     | 61        |
| 1.2.1.2. Avancées médiévales  | 67        |
| 1.2.1.3. Rénovateurs du XVII <sup>ème</sup> siècle  | 68        |
| <b>1.2.2. Raisonnements en sciences : voies diverses</b>  | 72        |
| 1.2.2.1. Quatre procédures  | 73        |
| 1.2.2.2. Validité <i>versus</i> nouveaux horizons   | 74        |
| 1.2.2.3. Raisonnement hypothético-déductif  | 75        |
| <b>1.2.3. Deux voies codifiées</b>  | 78        |
| 1.2.3.1. Expérience et induction : Bacon  | 78        |
| 1.2.3.2. Intuition et déduction : Descartes   | 81        |
| 1.2.3.3. Rapprochements   | 83        |
| <b>1.2.4. La troisième voie</b>   | 92        |
| 1.2.4.1. Antécédences : déjà sur la voie du milieu  | 92        |
| 1.2.4.2. Convergences chez les continuateurs  | 97        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>1.2.5. Descartes : le premier Système du Monde depuis Aristote</b>                  | 105        |
| <b>1.2.6. La déviation newtonienne</b>   | 107        |
| 1.2.6.1. Le choc Descartes-Newton  | 107        |
| 1.2.6.2. La querelle des hypothèses  | 109        |
| 1.2.6.3. Le poids de l'interdit newtonien  | 126        |
| 1.2.6.4. La "Newtonmania"  | 129        |
| 1.2.6.5. Vers le positivisme   | 137        |
| <b>1.2.7. Les défenseurs de l'hypothèse au XVIII<sup>e</sup> siècle</b>                | 141        |
| 1.2.7.1. Le flambeau brandi par Diderot  | 141        |
| 1.2.7.2. L'abbé et le chimiste : de Condillac à Lavoisier                              | 145        |
| 1.2.7.3. Excusez-nous Mr Newton...   | 150        |
| <b>1.2.8. Les temps modernes</b>   | 157        |
| 1.2.8.1. Le triumvirat britannique : Herschel, Whewell, Mill                           | 157        |
| 1.2.8.2. Le "doyen des étudiants" de France : Chevreul et sa méthode expérimentale     | 168        |
| 1.2.8.3. Claude Bernard, "sur les ailes d'une hypothèse"                               | 171        |
| 1.2.8.4. Le conflit Berthelot-Pasteur (1879)   | 176        |
| <b>1.2.9. Cheminements au XX<sup>e</sup> siècle</b>                                    | 180        |
| 1.2.9.1. Physique nouvelle et esprit scientifique                                      | 180        |
| 1.2.9.2. Conjectures et réfutations : Karl Popper et l'hypothético-déductivisme        | 182        |
| 1.2.9.3. De nos jours : regards sur la science en marche                               | 187        |
|  |            |
| <b>1.3. Les démarches pédagogiques sous le signe des démarches scientifiques</b>       | <b>191</b> |
| <b>1.3.1. Lakanal : Citoyens !...</b>  | 192        |
| <b>1.3.2. Des savants influents</b>  | 193        |
| <b>1.3.3. La démarche des leçons de choses</b>   | 204        |
| <b>1.3.4. L'induction triomphante et les travaux pratiques</b>                         | 211        |
| <b>1.3.5. Consignes officielles contradictoires au milieu du XX<sup>e</sup> siècle</b> | 226        |
| <b>1.3.6. L'influence de Claude Bernard</b>  | 230        |
| <b>1.3.7. L'esprit des Instructions actuelles pour les deux degrés</b>                 | 231        |
|  |            |
| <b>1.4. Une illusion méthodologique durable</b>  | <b>239</b> |
| <b>1.4.1. Bannir les idées préconçues</b>  | 239        |
| <b>1.4.2. L'induction par extraction</b>   | 240        |
| <b>1.4.2.1. Les activités reines</b>   | 241        |
| <b>1.4.2.2. Un "principe d'économie"</b>   | 242        |
|  |            |
| <b>1.5. Une formation de l'esprit par les sciences</b>                                 | <b>247</b> |
| <b>1.5.1. Deux esprits scientifiques</b>   | 247        |
| <b>1.5.2. L'apport des psychologues et des pédagogues</b>                              | 254        |
| 1.5.2.1. La surprise à la source du questionnement : Peirce                            | 254        |
| 1.5.2.2. Learning by Dewey : l'enquête hypothético-déductive                           | 256        |
| 1.5.2.3. Claparède : question, hypothèse, contrôle                                     | 259        |
| 1.5.2.4. Piaget et l'enseignement des sciences   | 260        |
| 1.5.2.5. Les positions de Freinet en sciences  | 263        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>2. PROBLÉMATIQUE</b>  | <b>266</b> |
| <b>2.1. De l'épistémologie à la didactique</b>                             | <b>266</b> |
| 2.1.1. Un exemple significatif   | 266        |
| 2.1.2. De l'Arche de la connaissance à une arche pédagogique               | 268        |
| 2.1.2.1. Les verticales de l'Arche   | 268        |
| 2.1.2.2. Modèles pédagogiques lestés de plomb                              | 274        |
| <b>2.2. Déconstruction d'OHERIC</b>  | <b>276</b> |
| 2.2.1. Des étapes à reconsidérer   | 276        |
| 2.2.2. Linéarité illusoire   | 278        |
| 2.2.3. Absence de mode d'emploi  | 285        |
| <b>2.3. Des modèles didactiques fondés sur l'épistémologie</b>             | <b>285</b> |
| <b>2.4. Hypothèse sur un outil : "DiPHTeRIC"</b>                           | <b>291</b> |
| 2.4.1. Composantes du modèle DiPHTeRIC                                     | 291        |
| 2.4.2. Mode d'emploi de l'outil proposé : une "didactique de l'initiative" | 295        |
| 2.4.3. Exemple d'utilisation   | 302        |
| <b>2.5. Le jeu des possibles</b>   | <b>304</b> |
| <b>3. MÉTHODOLOGIE</b>   | <b>305</b> |
| <b>3.1. Stratégies de recueil et de traitement des informations</b>        | <b>305</b> |
| 3.1.1. Méthode de recueil : tests et questionnaires                        | 305        |
| 3.1.1.1. Pré- et post-tests encadrant l'enseignement préconisé             | 305        |
| 3.1.1.2. Questionnement des élèves   | 311        |
| 3.1.1.3. Questionnement des enseignants                                    | 311        |
| 3.1.2. Critères retenus pour le traitement des informations                | 312        |
| 3.1.3. Publics concernés   | 314        |
| 3.1.4. Limites   | 316        |
| 3.1.4.1. Portée générale de l'étude  | 316        |
| 3.1.4.2. Limites liée aux outils d'évaluation élaborés                     | 317        |
| <b>3.2. Consignes et documents fournis aux enseignants collaborateurs</b>  | <b>319</b> |
| 3.2.1. "Cahier des charges"  | 319        |
| 3.2.2. Progressions fournies   | 323        |
| <b>3.3. Mise en œuvre de la recherche</b>                                  | <b>324</b> |
| 3.3.1. Phase préliminaire d'évaluation de la pertinence des tests          | 324        |
| 3.3.2. Aspects pratiques de la recherche                                   | 324        |

|   |                |
|---|----------------|
| <b>4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS</b>  | <b>327</b>     |
| <b>4.1. Analyse globale des questionnaires élèves</b>                           | <b>327</b>     |
| 4.1.1. Attitudes et attentes des élèves lors des investigations                 | 327            |
| 4.1.2. Bilans des élèves en fin d'année   | 329            |
| <b>4.2. Analyse des réponses aux tests</b>                                      | <b>333</b>     |
| 4.2.1. Résultats globaux  | 333            |
| 4.2.2. Résultats relatifs aux critères retenus                                  | 334            |
| 4.2.2.1. Premier esprit scientifique : maniement du "jeu des possibles" (C1-C3) | 334            |
| 4.2.2.2. Second esprit scientifique : esprit de doute et de contrôle (C4-C8)    | 341            |
| 4.2.2.3. Idées sur le cheminement des chercheurs scientifiques (C9)             | 347            |
| <b>4.3. L'évolution des élèves vue par leurs enseignants</b>                    | <b>348</b>     |
| <b>4.4. Résultats d'autres travaux utilisant notre outil</b>                    | <b>349</b>     |
| <b>4.5. Bilans et limites</b>   | <b>354</b>     |
| <b>5. PROLONGEMENTS ET PERSPECTIVES</b>   | <b>356</b>     |
| <b>5.1. Le Pentagone des Ambitions</b>  | <b>356</b>     |
| <b>5.2. Des aides pour l'enseignant</b>   | <b>359</b>     |
| 5.2.1. Le rapport programmes/temps : un double tri sélectif                     | 359            |
| 5.2.2. Gestion de la classe et démarches  | 359            |
| 5.2.3. Exemples de progressions et banques PHYTe                                | 360            |
| <b>5.3. D'autres approches pour l'axe 1 (investigations des élèves)</b>         | <b>363</b>     |
| 5.3.1. Exercices pour stratèges des sciences                                    | 363            |
| 5.3.2. Approche interdisciplinaire  | 364            |
| 5.3.3. L'apport de la métacognition   | 364            |
| <b>5.4. Approche historique et épistémologie (axe 3)</b>                        | <b>366</b>     |
| 5.4.1. Histoire des errances et des ruptures                                    | 366            |
| 5.4.2. Faire de l'épistémologie en classe                                       | 371            |
| <b>5.5. Exercice social de l'esprit scientifique</b>                            | <b>373</b>     |
| <b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b>  | <b>377</b>     |
| <b>BIBLIOGRAPHIE</b>  | <b>381-393</b> |
| <b>ANNEXES</b>  | <b>394-570</b> |



*Les citations sont en police de taille inférieure. Dans celles-ci, c'est moi qui mets en **gras** ce que je souhaite faire ressortir (tandis que les italiques, quand il s'y en trouve, sont d'origine).  
Une liste des sigles utilisés figure en annexe 1.*

## INTRODUCTION

**Je compris à ce moment là quelle était la façon de raisonner de mon maître. (...). Je compris que lorsqu'il n'avait pas de réponse, Guillaume s'en proposait un grand nombre, et très différentes les unes des autres. Je restai perplexé.**

- **Mais alors, osai-je commenter, vous êtes encore loin de la solution...**
- **J'en suis très près, dit Guillaume, mais je ne sais pas de laquelle.**
- **Donc, vous n'avez pas qu'une seule réponse à vos questions ?**
- **Adso, si tel était le cas, j'enseignerais la théologie à Paris.**

**Il se divertissait à imaginer le plus de possibles qu'il était possible.**

*Le Nom de la Rose, Umberto Eco<sup>1</sup>.*

*Le naufrage de l'éducation scientifique* : c'est avec ce titre peu complaisant que s'ouvrait, il y a tout juste trente ans, le premier chapitre d'un ouvrage dans lequel une équipe d'enseignants et de chercheurs s'accordaient sur l'échec de l'enseignement des sciences<sup>2</sup>. Jean-Pierre Astolfi, André Giordan, Gabriel Gohau, Victor Host, Jean-Louis Martinand, Guy Rumelhard et Georges Zadounaïsky s'interrogent (p. 8) :

« Mais comment se fait-il que l'esprit scientifique soit si vagissant et si peu répandu dans notre société ? »

Tous considèrent Victor Host, qui fut responsable de 1970 à 1978 de la section *didactique des sciences* à l'INRP (Institut national de recherche pédagogique) et impulsa les recherches en ce domaine, comme un pionnier<sup>3</sup>. Celui-ci revient, à la fin de sa vie, sur l'enseignement scientifique en France depuis un siècle<sup>4</sup>, et rappelle l'avancée qu'a constituée, dans l'évolution de la pédagogie des sciences,

« la **pédagogie de résolution de problèmes** qui permet de **mimer certaines formes élémentaires du travail des chercheurs scientifiques**, et qui **donne un sens** aux **travaux pratiques englués dans l'ornière positiviste** (expériences, observation, conclusion). »

C'est bien dans cette "ornière positiviste" qu'a lieu le naufrage annoncé par les signataires de l'ouvrage de 1978 : ils utilisent, pour désigner celle-ci, la formule OHERIC, forgée par André Giordan dans sa thèse (1976) et dénonçant une démarche ritualisée où tout, "extrait" de

---

<sup>1</sup> Eco (1982), 4<sup>e</sup> jour, vêpres, p. 330.

<sup>2</sup> Giordan, A. (coord.) (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?* PUF.

<sup>3</sup> Un chapitre intitulé « Victor Host (1914-1998), pionnier de la didactique des sciences » lui rend hommage dans Astolfi, Peterfalvi et Vérin (1998), *Comment les enfants apprennent les sciences*, Retz.

<sup>4</sup> Host, V. (1998). *Évolution de l'enseignement scientifique en France depuis un siècle*, présenté par Jeannine Deunff et Jean-Michel Host, <http://www.paysdelaloire.iufm.fr/IMG/pdf/host.pdf>

L'Observation, se déroule linéairement (Observation, Hypothèse, Expérience, Résultats, Interprétation, Conclusion).

Host (1998) présente ainsi les orientations principales des travaux de son équipe de recherche, *Activités d'éveil scientifiques*, qui « prennent en compte les données épistémologiques (Bachelard, Popper, Canguilhem, rupture avec le positivisme) » :

« la pratique d'une démarche de **résolution de problème** qui part d'une situation ouverte et comporte une **investigation effective** des enfants, le repérage des **représentations** qui préexistent ou qui traduisent des dérives de la démarche ».

Ces termes, alors novateurs, sont maintenant présents dans les instructions officielles, en France notamment : c'est par un *enseignement par problèmes* que doit s'effectuer l'apprentissage scientifique, et il est recommandé de prendre en compte les *représentations* des élèves. Le terme *investigation* est même, depuis peu, devenu très présent dans les consignes destinées aux enseignants du primaire comme du secondaire.

Ceci, pour les instructions officielles. Mais dans les classes ? En est-on resté à OHERIC ? Les constats les plus récents signalent une certaine survivance de ce modèle caricatural mais, pour l'essentiel, son temps paraît révolu : à la succession *expériences, observation, conclusion* des temps pré-OHERIC que signalait Host s'est substituée, le plus souvent, une succession *observation, problème, expériences (ou autres activités), conclusion (dictée)*, parfois précédée par une étape de *recueil des représentations* purement formelle.

Les programmes et recommandations, aujourd'hui comme par le passé et dans de très nombreux pays, demandent cependant aux enseignants de *former l'esprit scientifique* des élèves, en les initiant à la « démarche scientifique » ou à la « démarche expérimentale ».

D'une manière générale, l'écart demeure important entre d'un côté des consignes méthodologiques préconisant une approche hypothético-déductive et, de l'autre, des pratiques qui perpétuent une certaine forme d'empirisme et d'inductivisme.

La pédagogie de résolution de problèmes mimant certaines formes du travail des chercheurs, que Victor Host appelait de ses vœux, visant ce qu'il nomme « les modalités du développement cognitif liées à la démarche expérimentale », ne s'est pas implantée dans les classes. Ce que Michel Develay déplorait il y a vingt ans (1989) reste d'actualité :

« lorsque la méthode expérimentale ne conduit pas les élèves à émettre des hypothèses, lorsqu'on ne peut plus que parler de “manip”, l'apprenant est réduit à un rôle d'exécutant de tâches manuelles et à l'analyse des résultats. »

L'exemple de la démarche OHERIC, « caricature de la méthode bernardienne » (Astolfi, 1992, p. 17) est à ce titre symptomatique : elle correspond à l'irruption dans les programmes, à la fin des années 1960, d'un modèle basé sur « une interprétation trop rapide des écrits de Claude Bernard » (Clément, 1998), placage artificiel d'une démarche hypothético-déductive que l'on souhaite alors substituer à une longue tradition épistémologique inductiviste, très enracinée. Nombreux sont les enseignants qui sont retournés à cette tradition, ou ne l'ont jamais quittée, intégrant une hypothèse (la bonne) là où ils placent aujourd'hui, dès lors que les consignes nouvelles l'exigent, un problème.

Comme le signalent de nombreux chercheurs, une formation épistémologique des enseignants paraît nécessaire pour modifier cette situation : actuellement inexistante ou fort réduite, ce n'est en tout cas pas un élément pris en compte lors de leur recrutement. Les réformes, qui affichent souvent des intentions louables, ne s'accompagnent pas non plus de telles actions de formation.

Tenant compte de ces divers éléments, nos travaux nous ont conduit à proposer aux enseignants et aux formateurs, de manière pragmatique et dans le cadre institutionnel existant, un outil destiné à favoriser la formation de l'esprit scientifique des élèves.

Cet outil se compose d'un modèle et de son "mode d'emploi" : le modèle est une représentation simplifiée et approximative du cheminement non linéaire habituellement suivi par les chercheurs, et son mode d'emploi vise à privilégier, lors de la transposition de ce cheminement en classe, l'initiative des élèves.

Notre modèle repose sur des analyses historiques et épistémologiques que nous présenterons et qui permettent, dans le même temps, de discerner certaines des sources de la tradition inductiviste de l'enseignement des sciences.

L'outil proposé est à mettre en œuvre lors de démarches de résolution de problèmes, et il intègre la prise en compte des représentations des élèves, auxquelles est conféré le statut d'hypothèses. Son mode d'emploi s'accompagne d'un certain nombre d'éléments facilitateurs et sécurisants sur deux pierres d'achoppement habituelles : la gestion du temps et la crainte de ne savoir que faire des hypothèses imprévues des élèves.

Cet outil vise un double objectif : favoriser la formation de l'esprit scientifique des élèves, et inciter les enseignants à s'aventurer dans le type de démarche qui en fait l'ossature, en s'imprégnant de l'état d'esprit qui lui donne sa signification.

Nous ferons le point, dans une première partie, en nous référant à différents travaux, sur l'état actuel de l'enseignement en matière d'attitudes et de démarches scientifiques. Les causes du décalage entre les recommandations des didacticiens et les pratiques observées seront recherchées dans un éclairage épistémologique et historique, permettant de mettre à jour les racines de traditions toujours vivaces dans l'enseignement des sciences, et l'écart, au début du XX<sup>e</sup> siècle, entre les directives scolaires et les préceptes des grands pédagogues. L'étude des démarches utilisées dans l'histoire des sciences et une analyse des discours portant sur celles-ci nous amènera à dégager les caractéristiques majeures des cheminements scientifiques et, en conséquence, les facettes de l'esprit scientifique que l'enseignement veut s'appliquer à polir.

Dans une deuxième partie, nous exposerons notre problématique : en s'appuyant sur les analyses épistémologiques et historiques précédentes, peut-on envisager un type de démarche en classe qui, privilégiant l'initiative des élèves, permette une meilleure formation de leur esprit scientifique ? Nous faisons l'hypothèse que notre outil favorise une telle formation, et qu'il incite les enseignants scientifiques à s'engager dans cette voie.

La troisième partie présentera la recherche menée dans cette perspective, détaillant les stratégies mises en œuvre dans des classes de différents niveaux afin de mettre notre hypothèse à l'épreuve.

Les résultats obtenus et les interprétations que nous pensons pouvoir en tirer feront l'objet d'une quatrième partie, au terme de laquelle nous dégagerons les enseignements de l'étude menée, tout en précisant quelles en sont les limites.

Une dernière partie sera consacrée aux pistes permettant de prolonger notre étude, aux ajustements que ses conclusions suggèrent quant au mode d'emploi de notre outil, ainsi qu'aux axes qui, en parallèle, viennent en complément de son usage. Nous examinerons, en conséquence, le type de formation qu'il paraît utile de développer chez les professeurs de sciences pour viser avec davantage d'efficacité la formation de l'esprit scientifique des élèves.



## Chapitre 1

# ÉTAT DE LA QUESTION : ESPRIT SCIENTIFIQUE, DÉMARCHES SCIENTIFIQUES ET TRADITIONS ÉPISTÉMOLOGIQUES

*Former l'esprit scientifique* des élèves est une tâche dans laquelle se reconnaissent volontiers les enseignants scientifiques. Ils souhaitent pour cela les initier à la « démarche scientifique » ou à la « démarche expérimentale », et y sont encouragés par les programmes et recommandations, aujourd'hui comme par le passé et dans de très nombreux pays.

De l'avis de nombreux observateurs, l'enseignement scientifique ne parvient cependant pas, sur ces questions, à atteindre les objectifs qu'il se fixe, malgré une redondance de consignes officielles et une succession de projets, plans de rénovation et réformes. De ce point de vue, les écoliers paraissent toujours « condamnés à rouler leur rocher de Sisyphe », comme les décrivait Comenius dans l'introduction de sa *Grande didactique* (1632).

Les constats internationaux sur l'état actuel de cet enseignement font ressortir la nécessité de s'interroger sur le profond enracinement des pratiques de classe dans une tradition épistémologique séculaire, ainsi que de parvenir à une vision plus précise et plus complète de ce qu'est l'esprit scientifique.

## 1.1. État actuel de l'enseignement

Pesez, mesurez, comptez ; (...) attachez les jeunes esprits au **concret**, au **fait**. **Voir pour comprendre**, tel est l'idéal de cette **étrange pédagogie**. Tant pis si la pensée va ensuite du phénomène mal vu à l'expérience mal faite.

Gaston Bachelard (1932, p. 12).

### 1.1.1. Une demande officielle

Faire acquérir aux élèves une “démarche” ou une “méthode” scientifique, ou expérimentale, en rapport avec la formation de l'esprit, correspond à une demande institutionnelle très répandue.

Étymologiquement, *méthode* désigne un chemin à suivre (*meta hodos* : “chemin vers”), tandis que *démarche* se rapporte à la marche suivie (plus précisément, à la *marque* laissée au sol), ce qui fait en français préférer ce dernier terme pour son caractère moins rigide. L'expression *méthode expérimentale*, que l'on trouve déjà chez David Hume (1739, voir partie 1.2.6.4.), a été consacrée au XIX<sup>e</sup> siècle (Eugène Chevreul, Claude Bernard), et l'on utilise aujourd'hui plus volontiers *démarche expérimentale* pour désigner le type de démarche scientifique qui, comme c'est le cas le plus fréquent, utilise le recours à l'expérience.

Quelques exemples actuels permettront de montrer le caractère général des prescriptions adressées aux enseignants par leurs institutions dans ce domaine. Ainsi, le Plan d'études de l'enseignement primaire genevois (2007) comporte comme objectif explicite « s'initier à des démarches scientifiques », composante de « s'exercer à l'activité créatrice de la recherche »<sup>5</sup>, tandis qu'en France le texte ministériel de cadrage sur *l'enseignement des sciences au lycée* spécifie : « il faut privilégier avant tout l'enseignement de la démarche scientifique »<sup>6</sup>. Le portail éducatif de l'État argentin présente une page *¡Método científico!* où l'on requiert de « ne jamais perdre de vue un des principaux objectifs : exercer la méthode scientifique »<sup>7</sup>. En Espagne, on attend d'un bachelier qu'il maîtrise la capacité :

« Comprendre los elementos y procedimientos fundamentales de la investigación y de los métodos científicos. »<sup>8</sup>

Le *National Curriculum* qui couvre tout l'enseignement secondaire anglais mentionne : « la méthode scientifique (...) incite à la pensée critique et créative »<sup>9</sup>. Son actualisation pour la rentrée de septembre 2008 comporte pour le niveau 3 (12-13 ans) un paragraphe “esprit scientifique” (*scientific thinking*) et précise : « les élèves doivent être capables d'utiliser une gamme de méthodes scientifiques ». Au niveau 4 (15-16 ans), ils doivent savoir « planifier pour tester une idée scientifique »<sup>10</sup>.

En Chine, la réforme en cours lancée en 2001 pour les 213 millions d'élèves de toutes les écoles primaires et secondaires stipule :

<sup>5</sup> *Plan d'études de l'enseignement primaire – 1E-6P*. Rentrée 2007. République et Canton de Genève.

<sup>6</sup> *L'enseignement des sciences au lycée*, B.O. du ministère de l'Éducation Nationale HS N°2 du 30.08.2001, p.8.

<sup>7</sup> [http://aportes.educ.ar/fisica/nucleo-teorico/tradiciones-de-ensenanza/pizarron-o-laboratorio/pizarron\\_o\\_laboratorio\\_metodo.php](http://aportes.educ.ar/fisica/nucleo-teorico/tradiciones-de-ensenanza/pizarron-o-laboratorio/pizarron_o_laboratorio_metodo.php)

<sup>8</sup> Ley orgánica 2/2006 de educación, Juan Carlos I, Rey de España, *Boletín Oficial del Estado* n° 106, p. 17172.

<sup>9</sup> *The National Curriculum for England*, Key stages 1-4, Dpt for Education and Employment & Qualifications and Curriculum Authority, 1999, p. 15.

<sup>10</sup> *National Curriculum 2007*, stages 3 & 4, <http://curriculum.qca.org.uk/>

« Une attention particulière doit être accordée à l'enseignement des méthodes scientifiques aux élèves »<sup>11</sup>.

Et le rapport de la récente enquête PISA 2006<sup>12</sup>, concernant la culture scientifique dans 57 pays, indique que les programmes poursuivent l'objectif « amener [les élèves] à accorder de la valeur à la démarche scientifique » (p. 44), tandis que « Démarche scientifique » est l'une des catégories d'évaluation retenues pour cette enquête.

Ces objectifs étant annoncés comme majeurs, il importe de s'interroger sur ce qui caractérise les *démarches scientifiques* et l'*esprit scientifique*, questions sur lesquelles les programmes et la formation des enseignants ne s'arrêtent guère.

Éducateurs et pédagogues les ont abordées, certains souhaitant se conformer aux discours de philosophes, d'autres se référant plutôt aux études sur l'entendement humain et à la psychologie, d'autres encore se tournant plus volontiers vers l'épistémologie et l'histoire des sciences. Domaines en grande partie intriqués, comme l'illustre le cas de Jean Piaget : psychologue, il marque profondément la pédagogie ; professeur d'épistémologie, il montre quels sont les liens de sa pensée avec celle de l'éducateur Comenius, qu'il rattache au philosophe Bacon<sup>13</sup> ; élève de Claparède, il subit tout comme lui l'influence de Darwin et de Claude Bernard, eux-mêmes attentifs aux analyses de philosophes tels Whewell ou Comte. La pensée de John Dewey, qui dirigeait à Chicago le département de philosophie, psychologie et éducation, s'inscrit dans les mailles d'un semblable réseau, non sans lien d'ailleurs avec le précédent.

Depuis ses premiers développements, la pédagogie entretient des liens forts avec la philosophie : pour G. Compayré (1887), les préceptes de Comenius ne sont que « l'application stricte aux choses de l'enseignement » des principes méthodologiques baconiens :

« ce sont les idées mêmes, les méthodes qui se ressemblent et qui permettent de considérer comme deux traductions différentes d'un même esprit l'œuvre du rénovateur de la logique scientifique et celle du fondateur de la pédagogie moderne. »<sup>14</sup>

Ainsi, dès « la première tentative synthétique pour constituer la pédagogie en science autonome »<sup>15</sup>, celui qui est pour beaucoup « le père de la pédagogie » ou son fondateur<sup>16</sup> se place-t-il dans les pas du « père de la philosophie expérimentale » selon Voltaire<sup>17</sup>. La *Didactica magna* de Comenius (édition latine 1657), ouvrage souvent considéré comme fondateur de la didactique, vient en effet après l'*Instauratio magna* par laquelle Bacon veut rénover les méthodes en sciences (1620).

Bacon joignait d'ailleurs lui-même dès 1605, à la description de la méthode qu'il préconise pour l'avancement des sciences, cette prescription pour son enseignement :

---

<sup>11</sup> *Science education for contemporary society: problems, issues and dilemmas; final report*. International Bureau of Education, UNESCO, 2001, p. 18.

[http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user\\_upload/archive/curriculum/China/Pdf/beijingrep.pdf](http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user_upload/archive/curriculum/China/Pdf/beijingrep.pdf)

<sup>12</sup> PISA 2006. *Les compétences en sciences, un atout pour réussir*. Volume 1 (Analyse des résultats), OCDE, 2007.

<sup>13</sup> Piaget, J. (1957). « L'actualité de Jean Amos Comenius », in *Jean Amos Comenius 1592-1670 (Pages choisies)*, UNESCO, p. 11-33, paru à l'occasion du 300<sup>ème</sup> anniversaire de la publication des *Opera didactica omnia* (1657) : « Bacon fut, comme on sait, l'un des inspirateurs de Comenius, qui le cite souvent. »

<sup>14</sup> Article *Expérience, expérimentale (Méthode)* du *Nouveau Dictionnaire de pédagogie et d'instruction primaire* de Ferdinand Buisson (Hachette, 1887).

<sup>15</sup> Astolfi, J.-P. et Develay, M. (1989). *La didactique des sciences*, Que Sais-je ?, PUF, p. 3.

<sup>16</sup> Comme pour G. Compayré dans l'article cité (1887) ou pour le moderne *Dictionnaire de pédagogie* (Bordas, 1996).

<sup>17</sup> Lettre XII des *Lettres philosophiques*, 1734.

« Le savoir qui serait donné comme un fil à dévider encore, il faudrait le transmettre et le faire comprendre si possible de la manière même dont il a été découvert »<sup>18</sup>.

Un pont institutionnel est jeté entre enseignement et philosophie des sciences lors de la création des premières écoles des maîtres par la Révolution française, les *écoles normales de l'an III*. Joseph Lakanal, président du Comité de l'Instruction publique, s'exclame en effet à la tribune de la Convention :

« Citoyens ! Depuis longtemps, la partie éclairée de la nation demande une bonne traduction de Bacon, l'illustre philosophe anglais ; cet ouvrage est indispensable aujourd'hui pour les écoles normales que vous avez fondées. » (1794b).

“*Indispensable*” : point de formation des maîtres sans que ceux-ci soient initiés à cette “philosophie naturelle” qu'aujourd'hui on nommerait épistémologie.

Avant Lakanal, le padre Benito Feijóo (1676-1764) s'en était pris en 1726 au système éducatif espagnol, proposant un plan de réforme des études qui s'appuyait sur les philosophies de Bacon et de Newton, malgré les réticences de l'Inquisition qui voyait d'un mauvais œil ces Anglais hérétiques.<sup>19</sup>

Lorsque se joue, en France, le moment important dans l'histoire de l'enseignement où la *leçon de choses* des “salles d'asile” (les maternelles d'alors) se voit encouragée au primaire, Marie Pape-Carpantier, qui en est l'ardente promotrice, insiste sur le fait que cette méthode, bientôt et pour longtemps prototype de la leçon de sciences des grandes classes, suit l'ordre “naturel” des perceptions –ce qui est, pour elle comme pour beaucoup d'auteurs contemporains, celui de l'accès à la connaissance.

À la tribune de la Sorbonne lors de l'Exposition universelle de 1867, elle vante sa méthode devant le Ministre de l'Instruction publique et 700 instituteurs délégués venus de la France entière écouter ces conférences pédagogiques<sup>20</sup> organisées pour eux :

« Ses principes et ses règles sont ceux mêmes des opérations de l'entendement humain (...). Et la méthode suit dans ses démonstrations la même marche que l'esprit dans ses perceptions. » (1868, p. 12).

Alexander Bain, philosophe et pédagogue écossais dont l'ouvrage *Education as a Science* est alors une référence, fait une analyse comparable, établissant un parallèle entre le savant et l'enfant, “philosophe naturel autodidacte” :

« every child is a self-taught natural philosopher » (1879, p. 269).

Lors de la réforme de 1902, autre tournant important dans l'enseignement des sciences en France avec l'introduction des travaux pratiques dans le secondaire, des conférences pédagogiques sont organisées à l'intention des professeurs : il s'agit de « procéder comme la science expérimentale elle-même (règle épistémologique) » (Kahn, 2002b, p. 101).

À cette époque, Paul Langevin, par exemple, se rappelle avoir eu, en tant qu'élève,

« cette impression de science définitive et morte que donne un enseignement dogmatique des lois et des faits ».

Il regrette qu'il ne lui ait pas été donné à comprendre le « mécanisme de la vie scientifique » (1904, p. 287). Et Pierre Duhem, physicien et historien des sciences de renom, relève –et critique–

<sup>18</sup> *Du progrès et de la promotion des savoirs*, Gallimard, 1991, p. 185.

<sup>19</sup> Delgado Criado, B. (dir., 1992). *Historia de la educación en España y América*, Morata, t. 2 p. 725-732. -991 p.

<sup>20</sup> Pape-Carpantier, M. (1868). *Conférences faites aux instituteurs réunis à la Sorbonne à l'occasion de l'Exposition universelle de 1867*. Delagrave, 1879.

l'influence de la "méthode newtonienne", aussi bien dans le monde de la recherche que dans celui de l'enseignement secondaire où il la voit prescrite (1906, p. 305).

L'Académie des sciences, dans son récent avis sur l'enseignement des sciences (15 juillet 2008), établit un parallèle entre celui-ci et les travaux des scientifiques, souhaitant qu'on encourage « le travail en équipe des élèves, modalité caractéristique de la recherche scientifique », par lequel, en laboratoire, « ils percevront mieux la démarche scientifique », et demande que cet enseignement consacre du temps, notamment,

« à tout ce qui développe le raisonnement, tout en préparant à une éventuelle pratique ultérieure de la recherche. »<sup>21</sup>

Si les appels à transposer en classe les procédés à l'œuvre dans la science en marche ne sont pas rares, et l'on pourrait encore citer des renvois plus contemporains aux écrits de Claude Bernard ou à la "démarche hypothético-déductive", ils ne sont pas non plus exempts de critiques. Le principe du recours à la recherche scientifique en tant que *référence* est à considérer avec des restrictions du même ordre que celle que Jean-Louis Martinand énonce lorsqu'il développe le concept de *pratique sociale de référence* :

« nous ne pouvons et nous ne voulons pas nous attacher à une conformité étroite des compétences à acquérir avec les fonctions, les rôles et les capacités de la pratique réelle. » (1986, p. 137-138).

Les critiques, mais aussi les questions et les tentatives de réponse portent, sans même envisager une illusoire conformité, sur ce qu'est « la » ou ce que sont les démarches scientifiques, et sur une manière de conduire la classe qui permette, en s'appuyant sur un modèle du cheminement des chercheurs, de favoriser la formation de l'esprit scientifique des élèves.

## **1.1.2. Constats provenant de la recherche en didactique**

Ces exhortations à l'initiation aux procédures de la recherche scientifique nous conduisent à faire le point, en nous référant à différents travaux, sur l'état actuel de l'enseignement en matière d'attitudes et de démarches scientifiques.

Il est hautement significatif d'entrer plus avant dans l'analyse collective proposée il y a trente ans (Giordan coord., 1978a), et de la comparer aux bilans actualisés que certains de ses signataires de renom ont plus récemment dressés sur la situation en matière de formation de l'esprit scientifique et de démarches suivies en classe, ainsi qu'à d'autres travaux qui montrent que, malheureusement, cette analyse a conservé l'essentiel de son actualité.

### **1.1.2.1. À trente ans de distance**

Il y a trente ans, la faillite constatée révélait, pour les auteurs, l'oubli de propriétés qui font les valeurs de la science comme l'état d'esprit créatif et la contestation méthodique (chapitre I). Comment prétendre former à la pensée scientifique, s'interrogeaient-ils, lorsque l'élève est un simple exécutant ou un simple spectateur ? Ils posaient cette autre question fondamentale :

« Mais en fait, la méthode expérimentale, c'est quoi ? » (p. 8).

La réflexion entreprise se situait dans le contexte d'une « transformation profonde de la didactique », liée à l'évolution des idées relatives à la nature de la science :

---

<sup>21</sup> *Réflexions sur l'enseignement des sciences au lycée*, texte d'étape rédigé par le Comité sur l'Enseignement des sciences de L'Académie des sciences, 15 juillet 2008.

« Le développement rapide des sciences (...) a contribué à diffuser parmi les pédagogues une image de science **plus conforme aux données de l'épistémologie et de l'histoire des sciences**. La participation systématique de scientifiques connus par l'importance de leur recherche a contribué à diffuser plus rapidement ces idées. » (p. 14).

Cette époque est en effet celle où *La logique de la découverte scientifique* de Karl Popper (1934), œuvre enfin traduite en français, est préfacée par Jacques Monod (1973), prix Nobel de médecine en 1965. Alfred Kastler, prix Nobel de physique en 1966, est cité pour sa description, en 1974, de la recherche scientifique et de son absence de linéarité :

« Quand on voit les choses *a posteriori* et de l'extérieur, elles paraissent évidentes et l'on se dit que le progrès devrait aller très vite. Mais il y a des choses évidentes auxquelles on ne pense pas durant des dizaines d'années. En revanche, **on se polarise sur une tout autre direction** qui peut se révéler totalement stérile. Mais cette recherche en quelque sorte fourvoyée **fait avancer l'ensemble de la recherche** dans les voies fructueuses. (...) C'est pourquoi **la première qualité d'un chercheur c'est l'imagination** » (Interview in *Sciences et Avenir*, 1974, citée dans Giordan, 1978a, p. 51).

En anglais, Peter Medawar (1967), prix Nobel pour ses travaux d'immunologie, trace les délinéaments des sentiers empruntés par les scientifiques, en rendant lui aussi un hommage prononcé à Karl Popper. L'année suivante, il commente dans un article intitulé *Lucky Jim* (1968) la narration que vient de faire James Watson dans *La double hélice* (livre aussitôt traduit en français) du cheminement de la découverte, avec ses fausses pistes et ses associations d'idées imprévues :

« beaucoup de gens liront *La double hélice* pour l'aperçu qu'ils espèrent y trouver sur la nature du **processus créatif en science**. (...) Hypothèse et inférence, *feedback* et hypothèse modifiée, l'alternance rapide des **épisodes imaginatifs et critiques** de la pensée –ici tout peut être vu en mouvement, et chaque scientifique reconnaîtra la même structure intellectuelle dans la recherche qu'il conduit lui-même. »<sup>22</sup>

S'appuyant sur des études semblables, les auteurs rapprochent la pensée de Popper de certains des points essentiels de celle de Bachelard comme la rectification des représentations premières faussées, et concluent, pour la pédagogie des sciences :

« La pensée scientifique ne peut se manifester que si elle procède d'une attitude scientifique qui s'exprime par la **curiosité**, la **créativité**, l'attitude **critique** vis-à-vis de ses propres opinions et de celles d'autrui, la confiance en soi qui fait **rechercher la solution** d'un problème **par soi-même**. L'attitude scientifique n'est pas le privilège du savant, sans elle nous sommes incapables d'appliquer nos connaissances à une situation concrète et de **remodeler nos représentations lorsque l'expérience les met en défaut**. » (p. 14).

« En une décade, une nouvelle image de la science (...) a été vulgarisée : elle met l'accent sur l'attitude scientifique, l'importance de la **création** et de la communication **dans la démarche scientifique** ; elle **valorise la démarche expérimentale** qui permet de **raisonner sur le possible** » (p. 16).

L'éclairage épistémologique a beaucoup contribué à l'examen critique de la pédagogie, comme le rappelle Jean-Pierre Astolfi (1990) qui, relatant son itinéraire de recherche, situe ses travaux du début des années 1970 avant ce renouveau :

« il est vrai que nous ne nous sommes **pas encore démarqués** de cette caricature de la méthode bernardienne, sur laquelle nous ironiserons plus tard avec le sigle OHERIC. Soyons justes, si les **ouvrages d'épistémologie** des sciences se multiplient aujourd'hui, les classiques **Popper** et **Kuhn** venaient à peine d'être traduits en français (respectivement 1973 et 1972) ! » (p. 202).

Karl Popper insiste beaucoup sur les concepts d'hypothèse créative, de tests et de réfutation (qu'il nomme *falsification*). Dans la grille d'acquisition de la démarche expérimentale qu'il élabore au même moment, André Giordan prend en compte la « falsification au sens poppérien » (1978, p. 156), la genèse de la méthodologie expérimentale se faisant notamment par *acquisition et utilisation*

---

<sup>22</sup> Publié dans *The New York Review of Books*, 28 mars 1968, p. 3-5 ; repris dans Medawar (1996), chapitre 9.

du concept de "falsification" (p. 177-179). Thomas Kuhn, de son côté, met en avant la notion de *paradigme*, qui peut être transposée du domaine de l'histoire des sciences à celui de la pédagogie :

« Les théories sanctionnées ont simplement fonctionné suivant des concepts différents, dont l'heuristique s'est éteinte à un moment donné au profit de **nouveaux paradigmes**. Reconstituer le réseau conceptuel d'une époque donnée est la **tâche difficile des épistémologues**, sans sont constants les risques de raisonnement récurrent.

**C'est aussi la difficulté des professeurs** pour comprendre les erreurs de leurs élèves ! Les uns et les autres ne pensent pas avec le même **cadre de référence** » (Astolfi, 1997, p. 36).

J.-P. Astolfi (1990) mentionne l'impact qu'eurent alors les travaux d'autres épistémologues, et particulièrement ceux de Mirko Grmek, analyste des travaux de Claude Bernard :

« **Le réexamen épistémologique de la nature de l'activité scientifique** bat également son plein. L'argumentaire contestant la prétendue "démarche OHERIC" prêtée à Claude Bernard consiste à **prendre appui sur l'histoire des découvertes scientifiques** pour montrer leur écart avec la rigidité d'une démarche stéréotypée. On assimile facilement alors l'activité de l'élève à celle du chercheur (...). Outre **Kuhn** et **Popper** déjà cités, (...) l'influence est grande des travaux de Georges **Canguilhem**. Dans cette lignée, l'ouvrage de Mirko D. **Grmek**, montrant - chez Claude Bernard lui-même - l'écart entre les termes de son *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* et les notes de son cahier de laboratoire (...), **fonctionne comme un véritable révélateur**. » (1990, p. 204-205).

Une analyse « qui nous a alors beaucoup marqués », ajoute-t-il (1992, p. 17), qualifiant ce tournant de « transformation de l'épistémologie scolaire », que vient renforcer l'adhésion au concept d'*étayage* de Jerome Bruner, qui conduit à repenser le rôle de l'enseignant :

« il se positionne d'abord comme un facilitateur, un médiateur du savoir en train de s'acquérir » (1990, p. 206).

Ces développements ont conduit les acteurs de cette transformation à poser la question « OHERIC ne répond plus ? » (Giordan (coord.), 1978a, p. 7), à laquelle, deux décennies plus tard, fait écho « OHERIC répond toujours ! » (Demounem & Astolfi, 1996, p. 99). Aucun renversement épistémologique ne s'est opéré :

« L'enseignement des sciences expérimentales (...) reste **très largement imprégné d'une conception empiriste** selon laquelle **primeraient l'observation** et la soumission aux faits alors que toute l'épistémologie contemporaine des sciences insiste au contraire sur le caractère fondateur des théories et des modèles.

François Jacob, prix Nobel de médecine, n'écrit-il pas que la démarche scientifique ne consiste pas simplement à observer, à accumuler des données expérimentales, pour en déduire une théorie ? » (*id.*, p. 97).

Les espérances en termes d'acquisition d'attitudes scientifiques sont déçues :

« L'enseignement des sciences expérimentales jouit d'un prestige certain auprès des collègues des autres disciplines comme des parents d'élèves et de l'ensemble de la société, car il apparaît comme le lieu de la **formation de l'esprit scientifique** (...). La réalité de cet enseignement montre toutefois un visage différent, quand **l'accumulation des connaissances prend le pas sur la formation de l'esprit**. » (Astolfi, Peterfalvi et Vérin, 1998, p. 88).

André Giordan, de son côté, actualisant en 1999 son livre publié en 1978, *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*, note dès l'avant-propos :

« Vingt ans plus tard, le constat est le même : l'enseignement des sciences reste inadapté. » (1999, p. 7).

L'objectif de l'ouvrage demeure d'aider les enseignants à changer d'attitude et de méthodes pédagogiques. Lorsqu'on lit le bilan suivant, on ne pourrait dire s'il s'agit d'un texte de 1978, de 1999 ou de cette année :

« L'enseignement scientifique actuel est insatisfaisant ; les nombreux projets de rénovation, tant internationaux que français, en témoignent. Il faut bien constater que l'esprit scientifique est un vœu pieu dans notre société ».

Il figure en ouverture du texte de 1978 (p. 9), mais nul doute que son auteur le signerait dans les mêmes termes aujourd'hui. Pour preuve, la description dans ces deux ouvrages (1978b, p. 24-28, reprise en 1999 pour la confronter aux procédures des temps nouveaux, p. 26-29) d'une séquence sur la nutrition des plantes pour des élèves de 11-12 ans, schématisant « la situation de notre pédagogie ». Un fait initial est posé comme une évidence (la matière végétale est carbonée), un problème qui intéresse surtout le professeur, la source du carbone, est énoncé, l'hypothèse (unique) arrive par déduction (puisque le carbone n'est pas puisé dans le sol, c'est qu'il l'est dans l'air), sans souci des représentations des élèves, avant qu'une expérience vienne illustrer l'"évidence" énoncée. Conclusion en 1978 :

« Une telle présentation n'offre **pas à l'enfant la possibilité d'acquérir une démarche scientifique personnelle**, car c'est le **maître qui fait toutes les interventions**. De plus, un tel enseignement donne une **idée fautive de la démarche expérimentale**. Peut-on parler d'approche scientifique, là où il n'y a pas de vraie méthode de recherche ; là où les problèmes sont posés en des termes qui montrent que **la solution est déjà connue** ? Là où, par conséquent, **l'expérience n'apporte rien**, apparaissant superflue, une **simple illustration** d'un raisonnement déductif ? » (1978b, p. 27-28).

Le statut de l'expérience dans l'enseignement expérimental pose problème : nous sommes loin du « rôle contestataire que joue l'expérience par rapport à la théorie » (p. 40) ; dès lors, « l'observation et l'expérience ont perdu leur valeur de vérification » (p. 50), et l'auteur nous donne comme "résumé à apprendre" (!) :

« La pédagogie habituelle repose sur des idées "très 19<sup>e</sup> siècle" : **"il n'y a qu'à regarder pour voir."** "Il suffit **d'accumuler des faits pour comprendre**" » (p. 51).

Qu'en est-il en 1999 ?

« Voilà ce que nous dénoncions en 1976... Vingt-cinq ans plus tard, qu'est-ce qui a changé ? Rien ! **Les mêmes dysfonctionnements** s'observent presque mot pour mot. » (p. 29).

En témoignent la manière dont est présentée une expérience sur le même thème dans un ouvrage recommandé par le ministère de l'Éducation, ou dans des manuels du primaire et de 6<sup>e</sup> : les élèves n'ont guère le choix que de se répartir entre ceux qui sont largués et ceux qui, faisant l'effort de comprendre et y parvenant peut-être plus ou moins, reçoivent en tout cas « une idée totalement erronée de ce qu'est une démarche scientifique » (p. 31).

L'auteur signale que les élèves de cet âge pensent que les plantes se nourrissent uniquement du sol (c'était déjà la vision d'Aristote) et qu'ils voient en la chlorophylle une sorte de « fortifiant » (p. 32). Leurs représentations rejoignent les obstacles épistémologiques qu'ont dû surmonter les savants : Van Helmont (1648) croyait avoir démontré vers 1600 que les 75 kg d'un saule ayant grandi en pot pendant cinq ans ne provenaient que de l'eau d'arrosage, alors même que c'est lui qui découvrit le gaz carbonique, -mais il était déjà trop content de réfuter Aristote. Songeons aux deux siècles qu'il fallut ensuite avant les découvertes décisives des genevois, les expériences de Jean Senebier de 1782 étant confirmées par celles de Nicolas-Théodore de Saussure en 1804 (Guyenot, 1941). Plusieurs travaux didactiques ont bien montré les difficultés des élèves face aux conclusions en apparence logiques de Van Helmont (Rumelhard, 1985 ; Campestrini, 1992 ; Sauvageot-Skibine, 1997).

D'autres exemples amènent ces interrogations sur le statut des activités :

« Mais, au fait, **pourquoi** leur fait-on faire de telles activités ? Quelles questions règle-t-on ? Les enfants ne comprennent pas **quels sont les enjeux** de l'activité. **Ils font "pour faire"** (...). Ces activités ne s'appuient pas

non plus **sur les idées de l'enfant**. (...) Ces "activités pour l'activité" **ne modifient en rien les conceptions** de l'individu » (1999, p. 35).

Il n'en va parfois pas mieux dans les formations d'enseignants que dans les classes, A. Giordan relevant à propos de la démarche OHERIC :

« Dans des IUFM (Institut universitaire de formation des maîtres), dans des formations au brevet d'animateurs scientifiques ou dans des cours de philosophie de Terminales, la démarche expérimentale est toujours présentée ainsi, de façon linéaire et idéalisée ! » (*id.*, p. 37).

Dans une étude effectuée un peu plus tôt pour l'UNESCO (Giordan & Girault, 1994), les auteurs font « le point sur les débats ainsi que sur les principales recherches en didactiques des sciences réalisées dans des pays francophones », au cours des dix années précédentes. La peinture des pratiques de classe qu'ils en dégagent contraste fortement avec le projet qu'ils soutiennent. Ils souhaitent en effet :

« une éducation ayant pour objet de développer la **curiosité** des élèves, de les encourager à **comprendre** et à **résoudre les problèmes** plutôt que de se limiter à la mémorisation -en un mot, de **faire naître chez eux l'esprit scientifique** » (p. vii).

Tandis que ce qu'ils constatent est fort différent :

« **au lieu de pratiquer une réelle démarche expérimentale**, au cours de laquelle les élèves pourraient suivre leurs **propres investigations** et répondre à leurs questions, le plus souvent les élèves effectuent en fait des manipulations au cours desquelles **ils exécutent des consignes fixées préalablement** par le professeur. Cette pratique qui est pourtant **très courante** dans les classes (à la décharge des enseignants certains aspects (...) expliquent en partie ce constat) repose en fait sur des conceptions de l'apprentissage tout à fait surannées actuellement. » (p. 84).

Ils tiennent à spécifier qu'en termes d'implication intellectuelle, et malgré le caractère actif, pratique et concret de ces approches habituelles, l'enseignement magistral qui leur est souvent opposé à titre de repoussoir a peu à leur envier :

« Tous les lecteurs ont en tête les caractéristiques des pédagogies dites "expositives", "dogmatiques" ou "frontales". Toutefois, nous voudrions préciser qu'elles ne se limitent pas aux cours magistraux. On peut les retrouver sous des "apparences neuves", comme **les classes "dialoguées", "actives"** ou sous certaines activités dites "de découvertes" ou "de redécouvertes" qui "**ignorent les élèves et leurs idées**". Les plus caractéristiques dans le genre sont certaines pratiques de laboratoire, où **certes les élèves bougent** mais où **le cheminement conceptuel est donné par les consignes**. Les élèves se limitent à **exécuter** un mode d'emploi -dont ils ne maîtrisent ni la problématique, ni la démarche. » (p. 99).

En 1997, Guy Rumelhard épingle « le positivisme qui imprègne l'enseignement scientifique » et l'« épistémologie spontanée des enseignants » :

« Même si l'on récuse actuellement le terme d'histoire naturelle, l'attitude correspondante persiste. (...) **Décrivons donc les faits**. (...) **Voir c'est comprendre**, et ainsi beaucoup de leçons de science commencent par une "**expérience de mise en évidence**" ».

Ainsi celle du réflexe rotulien qui, selon les instructions officielles, « doit permettre de mettre en évidence l'intervention du réflexe myotatique dans le maintien de la posture. » Il poursuit (Rumelhard, 2000) :

« la **pédagogie de l'évidence** (au sens anglais très fort du mot evidence) privilégie l'observation (...). Le **refuge protecteur** derrière le "fait brut" observé empiriquement ou produit expérimentalement (...) met l'enseignement scientifique au service d'un **anti-intellectualisme** qui n'est pas tenable. Il le circonscrit dans l'infinie platitude d'un monde réduit à l'observable et qu'il suffirait de lire et de décrire. »

Le chapeau de l'article dresse un bilan sans concession :

« Le positivisme impose une représentation des savoirs scientifiques **dénuée de toute dimension spéculative**. L'enseignement des disciplines scientifiques est aujourd'hui **essentiellement opératoire et manipulateur**. »

Pour sa part, Gabriel Gohau (2002, p. 174-177), à la fois enseignant du secondaire et historien des sciences, cite un texte officiel de 1968 visant l'acquisition d'un « véritable esprit scientifique » pour noter qu'il fut « le point de départ de ce que les adeptes d'une pédagogie moins corsetée moqueront sous le nom d'OHERIC (...) avant que l'accent ne fut mis sur le problème. » Il relève à la lecture des programmes de 1996 et 1999 :

« **Toujours OHERIC**, si ce n'est l'ajout d'un problème au départ » (p. 177),

et mentionne le succès formel de ce terme :

« le mot "problème" (...) est devenu **le fétiche de la méthodologie** des sciences naturelles, le sésame qui fait s'ouvrir les portes de l'enseignement à qui l'emploie dans les leçons de CAPES [concours de recrutement] ».

Pierre Clément, faisant le point sur *La biologie et sa didactique, dix ans de recherche* (1998), confirme la persistance du même modèle : « le modèle OHERIC a fait et fait encore référence », tandis que « la contestation de ce modèle est devenue un classique de la didactique des sciences » (p. 76).

Gérard De Vecchi (2006, p. 18) fait le même constat lorsqu'il interroge des enseignants sur ce qu'est la « démarche expérimentale » :

« Que l'on considère les enseignants de l'école primaire ou ceux du secondaire, les réponses les plus fréquentes que nous avons obtenues, quelle que soit la discipline scientifique qu'ils enseignent, renvoient aux modèles « OHERIC » ou « OPHERIC » [P pour problème] qui restent les références entre toutes ! »

Un ouvrage collectif associant des chercheurs en pédagogie et des psychologues (Astolfi, Cauzinille-Marmèche, Giordan, Henriques-Christofidès, Mathieu & Weil-Barais, 1984), présentant des innovations pédagogiques et des études de psychologie cognitive, place en tête des objectifs de tout enseignement scientifique « **former l'esprit scientifique** des élèves, développer leur sens critique, leur apprendre à s'étonner et à s'interroger », pour aussitôt constater : « on conviendra aisément que ces objectifs sont pourtant loin d'être atteints par la majorité des élèves », notamment parce qu'« on impose à l'élève des activités dont ils n'ont pas eu l'occasion de saisir le sens » (p. 7-8).

« Un peu partout l'on essaie d'adapter les contenus d'enseignement au développement de l'enfant tel qu'on le comprend à travers les études psychologiques. Mais le rôle essentiellement actif du sujet **qui cherche** à connaître semble échapper à l'attention de ceux qui élaborent les programmes. Personne, bien entendu, ne veut que les élèves restent passifs et endormis. Mais **aucun enseignant n'admet aisément une activité non dirigée par lui**, qui nécessite à coup sûr plus de temps et qui peut conduire à **des sentiers personnels finissant parfois en impasse**. Au nom du programme, du rendement et de l'efficacité, au nom aussi d'une crainte sincère de voir l'enfant se décourager devant l'échec de sa démarche (si seulement on pouvait penser au découragement de l'élève dans d'autres situations !), **on l'empêche de procéder à une démarche personnelle** pour acquérir un savoir. » (p. 11).

Cet enseignement peu conforme aux données de la psychologie ne prend guère en compte « les aspects divergents de la pensée », par exemple :

- être capable de s'étonner, même en dehors du cadre scolaire, d'un **fait qui contredit l'acquis** antérieur (...);
- être capable de **rechercher une gamme d'hypothèses** ou de solutions différentes devant un problème donné ; (...)
- **décider d'une procédure au lieu d'attendre des instructions...** » (p. 14-15).

### 1.1.2.2. Analyses de séquences

Le suivi du déroulement de séquences de biologie ou de physique dans l'enseignement secondaire, telles celles effectuées et relatées par Orlandi (1991), Monchamp (1993), Fillon & Monchamp (1995) et Bomchil & Darley (1998), révèle la manière dont est conduite, en classe, une démarche scientifique (ou expérimentale).

Ces travaux montrent que le plus souvent, les expériences ont davantage un statut d'*illustration* que de test. L'hypothèse, lorsqu'elle n'est pas absente, est la "bonne", que le professeur fournit ou qu'il extrait des réponses d'élèves aux questions qui les suscitent. La démarche scientifique est caricaturée, sa logique est celle du professeur qui capture au vol les propos allant dans le sens attendu tout en ignorant les autres et en ordonnant les tâches, l'œil sur l'horloge. Ainsi lorsque l'observation censée ouvrir la démarche doit être, comme dans les séquences analysées par Orlandi et par Bomchil et Darley, celle du goût sucré pris par du pain mâché, peu évident à détecter, des professeurs admettent :

- « il y en a toujours un ou deux qui me disent que ça devient sucré »,  
-« soi-disant ça prend un goût sucré, il y en a bien toujours une qui le trouve » (Orlandi, 1991).

« en utilisant son autorité d'enseignant, [il] **sélectionne la bonne réponse** dès qu'elle est énoncée par un élève. (...) Pour les élèves, cette hypothèse ne peut être que la "bonne" hypothèse. D'une part, les élèves sont bien conscients de tous les efforts qu'a déployés l'enseignant pour la leur faire énoncer, et d'autre part, ils connaissent bien la "*coutume didactique*" (N. Balacheff, 1987) des TP de biologie qui consiste à ne tester qu'une seule hypothèse puisque c'est la seule rationnellement identifiée comme pertinente. (...) bonne hypothèse **qui n'est rien d'autre que l'objectif de l'apprentissage**. » (Bomchil & Darley, 1998).

Exemples de *pédagogie de devinette* (Giordan & De Vecchi, 1987, p. 150) ou de la pêche à la bonne réponse (De Vecchi & Carmona-Magnaldi, 1996) :

« après avoir posé une question, beaucoup de professeurs désignent un élève puis un autre si le premier n'a pas immédiatement donné satisfaction. **L'acquisition de la réponse attendue**, qui va permettre de relancer le cours, préoccupe davantage les enseignants que la réflexion réelle de l'élève.

**La réponse erronée est simplement refusée**, sans être l'objet d'une justification, d'une correction. L'élève conserve ses idées fausses et ce n'est sans doute pas le fait d'entendre la "bonne réponse" de la bouche d'un camarade ou du professeur qui lui permet de se corriger. » (Fillon & Monchamp, 1995, p. 84).

Alain Monchamp, dans une recherche sur les pratiques pédagogiques menée à l'INRP, analyse 22 séquences de biologie de 11 professeurs en 3<sup>e</sup> et en 2<sup>nd</sup>e, notamment du point de vue des intentions des professeurs ainsi que des niveaux des tâches intellectuelles proposées aux élèves :

« Le statut de l'expérience est constant dans les deux niveaux : elle est **imposée** dans un cours pour asseoir le discours du professeur et lui donner la parure de la Vérité. Le montage ou le document est imposé comme un **argument d'autorité suprême** (...). Les résultats expérimentaux sont parfois exploités de manière **orientée**, voire **abusive**. Il arrive même que les propositions des élèves soient **falsifiées** pour être **ramenées dans la "bonne direction"**. Comme **il s'agit d'abord de convaincre** (...), le procédé est davantage de nature rhétorique que scientifique. » (Monchamp, 1993, p. 200).

A. Monchamp relève que bien souvent, le lot des élèves est de suivre des consignes « sans partager l'activité de réflexion du professeur », et met à jour le « simulacre d'apprentissage de l'activité intellectuelle scientifique » :

« Le professeur met en œuvre une démarche hypothético-déductive, mais **sans "perdre de temps"** : choix de la bonne proposition, rejet de toute proposition contradictoire, montage imposé rapidement aux élèves alors que les propositions de construction des élèves ont été très incomplètes (...). On n'observe pas de phases de réflexion sur la cohérence réelle ou non entre les résultats obtenus et les implications de l'hypothèse. »

« Il s'agit d'accepter des résultats obtenus par le montage du professeur et non pas par celui que l'élève aurait pu proposer (...). Les résultats ne sont pas confrontés aux conséquences de l'hypothèse. »

« (...) cette confrontation, bien que fondamentale, est rarement mise en œuvre réellement dans les classes : soumet-on, par exemple, à l'analyse des élèves, des expériences dont les résultats ne valident pas l'hypothèse dont elles sont issues ? (...) Tout se passe en fait comme si le professeur, en s'appuyant sur des objets et par une mise en scène, cherche à être attractif et **persuasif, en consommant le moins de temps possible.** » (Fillon & Monchamp, 1995, p. 76-78).

Le cheminement se fait alors selon une “boucle didactique” très verrouillée, dans laquelle on part de la solution présentée d'emblée pour y revenir via l'expérience ou les documents qui y ramènent. L'élève trouve bien dans son tube à essai ce que le professeur a annoncé –et sinon, c'est qu'il a mal manipulé :

« en troisième, (...) **tous les professeurs observés annoncent** d'abord et d'emblée le problème **et la solution.** Puis, **l'expérience** vite présentée **apporte le résultat annoncé** précédemment (...). En s'appuyant sur un dialogue qu'il influence très fortement, le professeur énonce enfin une pseudo-conclusion conforme aux idées **annoncées en introduction.**

Cette forme d'exploitation de l'expérience se fait selon une **boucle didactique de nature tautologique** (...) Ainsi, l'usage de l'expérience et du mode dialogué, avatars de la méthode active, reste malgré tout **conforme au système transmissif.** »

« **Cette méthode n'a pas de véritable caractère expérimental.** » (p. 80).

« L'analyse comparée des pratiques pédagogiques révèle une **grande uniformité** entre les professeurs, tant au plan de la construction du scénario conceptuel que de la mise en œuvre d'une “pédagogie active”. **Tous les professeurs observés** utilisent le même type de construction de séquence : le problème posé est suivi par une succession de “**boucles didactiques**”, chacune étant introduite d'emblée par la réponse amorcée ou complète au problème. » (p. 99).

« Le résultat allant toujours dans le sens de la proposition, il n'y a **jamais de réflexion sur l'éventuelle falsification.** Ce constat a été fait en classes de troisième comme de seconde. » (p. 111).

L'auteur de la recherche regrette « l'édulcoration de cette démarche » :

« Le caractère artificiel de l'enchaînement des étapes provient du **guidage étroit**, opéré par le jeu des questions-réponses soigneusement sélectionnées. La **démarche** de résolution du problème est **imposée.** Son efficacité est supposée être obtenue, **non par la prise en charge du problème par l'élève**, mais par le simple effet naturel d'une présentation logique des faits. » (p. 80).

« Par nos observations, on peut dire que, dans le cadre des cours, la démarche expérimentale est tellement **modifiée par les conditions d'enseignement**, conditions externes et internes à la classe, qu'elle **en perd ses caractéristiques essentielles.** » (p. 81).

« Les professeurs (...) sont attentifs à respecter les étapes selon la succession canonique : observation de faits, problème, hypothèse, expérience ou résultats expérimentaux, interprétation, conclusion. Mais, la quête de savoirs nouveaux étant minutée, **c'est le professeur qui la pilote** en sélectionnant soigneusement les interventions et en comprimant les étapes. » (p. 98-99).

Une telle démarche permet simplement « une certaine illustration des phénomènes » :

« En physique comme en biologie, et malgré la meilleure bonne volonté des professeurs, l'expérience, et les démarches qui la sous-tendent, ne semblent pas tenir une place essentielle dans les processus de conceptualisation.

**La démarche expérimentale ne joue pas son rôle de validation d'une proposition** de formulation d'un concept ou d'un de ses attributs.

Elle permet au professeur d'**illustrer l'exposé d'un concept.** » (p. 81).

Ce constat, en 1995, est le même qu'en 1978 :

« L'observation et l'expérience ont **perdu leur valeur de vérification.** » (Giordan, 1978b, p. 50).

Il faudrait, pour qu'elles conservent cette valeur, qu'elles éprouvent les idées des élèves. Or :

« Tel professeur, lors de l'interview précédant le cours, (...) prétend, par ailleurs, prendre en compte les propositions des élèves. Mais les **“bonnes” intentions du professeur sont vite oubliées** dès qu'il s'agit de faire progresser le cours. **On avance...** » (1995, p. 84).

« Certaines propositions indiquent qu'ils cherchent à coopérer mais n'entrant pas d'eux-mêmes dans le jeu, ils en sont réduits à **deviner l'attente du professeur**. (...) Le professeur organise et dirige les activités. Les élèves **agissant sur ordre** n'ont peut-être pas tous compris le sens de la succession des activités. » (p. 86-88).

C'est alors un déversement de connaissances, qui n'a simplement pas les formes apparentes d'un cours magistral :

« La **mise en scène** contient les étapes classiques d'une démarche expérimentale mais, en fait, les étapes qui devraient être coûteuses en temps sont tellement **fugitives**, voire implicites, qu'elles **ne servent qu'à imposer un savoir**. » (p. 99).

« On demande à l'élève de devenir acteur **jusqu'au moment où on lui refuse son rôle de découvreur**. Il est maintenu en situation de **“basse tension” mentale**. (...) Au bout du compte, l'élève est mis dans la situation où il ne peut recueillir que les conclusions, sans en avoir d'ailleurs saisi leur genèse, et les mémoriser comme de simples faits. **Tout se passe finalement comme si le cours n'avait été qu'expositif**. » (p. 88).

En Physique-Chimie, P. Fillon ne constate pas ce souci de “mise en scène”, puisque « l'expérience n'est pas incluse dans une démarche mobilisant un raisonnement hypothético-déductif. » (p. 111). Son utilisation reste cependant sans rapport avec le « rôle contestataire que joue l'expérience par rapport à la théorie » que signalait aussi A. Giordan (1978b, p. 40), ajoutant que c'était là ce qu'il s'agissait d'abord de faire passer aux élèves.

« On constate donc que **dans les deux disciplines** expérimentales (...), **dans tous les cas, l'expérience joue le rôle d'argument pour étayer un discours. Jamais elle ne joue le rôle qui est le sien dans la démarche hypothético-déductive** de construction du savoir en science. Seule, la biologie lui fait jouer un rôle qui s'en rapproche mais nous avons vu qu'elle **le détourne** en réalité à des fins de justification du discours. » (1995, p. 111).

Dans leur conclusion générale, les auteurs de cette étude soulignent :

« La **dérive de la démarche expérimentale vers la monstration** fait que le rôle joué par l'expérience en biologie se rapproche de celui qu'elle joue en chimie. (...) En chimie et en biologie, le professeur a **surtout pour objectif de présenter et de transmettre des connaissances factuelles** » (p. 112).

« La maîtrise absolue de la situation pédagogique a pour conséquences la possession du monopole de l'énonciation du concept devant des élèves dont les tâches sont **de simple exécution** » (p. 113).

Ils en viennent alors à lier l'authenticité d'une démarche expérimentale en classe à la part d'initiative que l'enseignant acceptera d'accorder aux élèves.

« La mise en œuvre d'une pédagogie (...) basée sur une **réelle démarche expérimentale** ne pourra se faire qu'à condition que les professeurs gèrent de façon simultanée les savoirs et la classe **en laissant des initiatives aux élèves**. » (p. 113).

Astolfi *et al.* (1998, p. 89), se référant à ces travaux, commentent :

« D'autres travaux conduits à la charnière 3<sup>e</sup>-2<sup>nde</sup> renforcent et durcissent même ce constat. (...). Tout se passe comme si le professeur, en exhibant des objets inhabituels et par une mise en scène calculée, cherchait à être attractif et *persuasif*, en consommant le moins de temps didactique possible. **La formation de l'esprit scientifique paraît loin...** »

Comme l'exprimait Yves-Marie Labé dans *Le Monde de L'éducation*,

« **Former à l'esprit scientifique, c'est du luxe pour le système scolaire français**, ce qui est nécessaire, c'est de préparer au bac et ceci n'a rien à voir avec cela. »<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup>« Non-matheux interdits de sciences. » *Le Monde de L'éducation* n°116, mai 1985.

Des analyses similaires proviennent du Québec comme des pays anglo-saxons. Jacques Désautels (1980) indique qu'au Québec,

« les résultats de la recherche montrent que les élèves n'ont **pas acquis l'esprit scientifique**. (...) Nos élèves ont **non seulement la tête bien vide, mais aussi mal faite**. »<sup>24</sup>

### 1.1.2.3. Ailleurs dans le monde

Pour Michael R. Matthews (1994), éditeur en chef de la revue *Science & Education*, il est largement reconnu qu'il y a une crise dans l'éducation scientifique occidentale (p. xiv). À titre d'exemple, en 1989 bon nombre d'élèves australiens excellents en science donnèrent comme raison de ne pas poursuivre leurs études universitaires en sciences : « trop barbant » (*too boring*).

« Les cours de sciences sont trop souvent, comme le remarque un élève, “des marches forcées à travers un pays inconnu sans disposer de temps pour regarder de côté” » (p. xiv-xv).

Dans le même temps, note Matthews, des visions du monde pseudo-scientifiques et irrationnelles ont une forte emprise, et il s'interroge sur la part, dans cet échec, imputable à la « vision inadéquate de la méthode scientifique » véhiculée (p. 19). Il note, concernant 28 projets de réforme de l'enseignement des sciences depuis 1975, soutenus par la *National Science Foundation* aux États-Unis, qu'ils ont été engagés « sans changement dans la formation des maîtres » ni « support systématique » :

« C'est comme une voiture sans essence –elle a fière allure mais ne va nulle part. » (p. 20).

« Ainsi que l'a conclut une étude majeure, c'était souvent un cas de “vin jeune dans de vieilles bouteilles” » (p. 19).

En Espagne, Barbera & Valdes (1996) résument, à l'issue d'une large revue bibliographique :

« La science scolaire s'enseigne comme si la nature de la pratique scientifique était **inductive**. »

En Grande-Bretagne, un groupe d'une vingtaine d'éducateurs scientifiques a entrepris, à l'issue de plusieurs séminaires, de faire part de ses constats et ses recommandations pour le 21<sup>ème</sup> siècle dans un rapport intitulé *Beyond 2000* (Millar & Osborne, eds, 1998).

Ce groupe mentionne que la science continue d'être présentée dans le programme courant comme « une succession de “faits” à apprendre », et que l'accent mis sur les contenus limite l'étude d'éléments comme la nature de la science, ainsi que d'importants aspects nécessaires à la compréhension de sa pratique.

### ***Inquiry*, Sputnik et “cookbook science”.**

Aux États-Unis, John Dewey lançait en 1909 un appel pour placer les élèves en situations de recherche. Dans une conférence sur l'enseignement des sciences faite à l'*American Association for the Advancement of Science* (AAAS), il critique l'approche habituelle, dans laquelle les travaux pratiques ne servent qu'à appliquer ou illustrer ce que le professeur avait dit au préalable :

« La science a trop été enseignée comme une accumulation de matériaux tout prêts avec lesquels les élèves doivent être rendus familiers, pas assez comme une méthode de pensée, une attitude de l'esprit, (...) une méthode d'enquête (*method of inquiry*) »<sup>25</sup>

<sup>24</sup> Désautels, J. (1980). *Ecole + Science = Echec*, Québec Science Editeur. Cité in Giordan, A. et Girault, Y. (1994).

<sup>25</sup> “Science as Subject-Matter and as Method”, *Science* 31 (787), 1910, p. 121-127, reproduit in *Science & Education* 4, p. 391-398, 1995.

Le terme qu'il utilise, *inquiry*, que l'on peut traduire par enquête, recherche ou investigation, est de nos jours abondamment utilisé dans les programmes scientifiques aux États-Unis et dans les pays anglo-saxons en général, tels la Grande-Bretagne et l'Australie. L'Académie Nationale des Sciences américaine a publié, en 1996, à travers son *National Research Council* (NRC), des "standards" relatifs à l'enseignement des sciences, qui en font une « stratégie centrale pour l'enseignement des sciences »<sup>26</sup>. Le guide pour les enseignants qui a suivi, publié en 2000, porte également *inquiry* comme premier mot de son titre<sup>27</sup>.

L'appel de Dewey ne fut cependant pas réellement pris en compte de manière effective dans les classes.

Beaucoup plus tard, la sensation causée par le lancement de Spoutnik en 1957 catalysa un changement dans les programmes d'enseignement des sciences : pour rattraper ce qui était considéré comme un retard dans la culture scientifique, les réformes des années 1960 prévoient des activités dans lesquelles les élèves doivent chercher des relations dans les données collectées. Joseph Schwab, docteur en génétique et *Professor of Education* à l'université de Chicago, « le taon socratique dont les critiques piquantes ont stimulé l'éducation en pointant les déficiences chroniques et en indiquant de nouvelles directions »<sup>28</sup>, fut alors, cinquante ans après Dewey, le promoteur de l'*inquiry teaching*. Une approche soutenue par le psychologue Jerome S. Bruner qui met au même moment en avant la notion de *discovery* ("The act of discovery", 1961).

Dans leur analyse de la recherche contemporaine, Lunetta *et al.* (2007) relatent :

« Dans la période de réformes de l'éducation scientifique des années 1960, aux États-Unis comme dans le Royaume Uni, les principaux projets d'enseignement scientifique développèrent de "nouveaux" cursus prévoyant **l'engagement des élèves dans des investigations** et des **enquêtes** (*inquiry*) comme élément central, (...) se basant sur les théories de l'apprentissage de Jerome **Bruner**, Robert **Gagné** et Jean **Piaget** pour justifier l'accent mis sur l'enquête et les activités pratiques (*hands-on*). Les projets, incluant (...) le projet *Nuffield* au Royaume Uni, rendirent fondamentales des activités pratiques **inductives** (...) **selon "le cheminement des scientifiques"**. »

Le glissement est patent : si les psychologues cités préconisèrent en effet la découverte par l'activité propre de l'élève, aucun, et certainement pas Dewey ni Piaget, ne prétend que le cheminement des scientifiques est inductif.

Piaget lui-même par exemple fournit un témoignage sur cette période. Il relate l'insuffisance constatée aux U.S.A. dans l'enseignement scientifique (1965, p. 76-77) :

« L'un des principaux courants est parti (...) du **cri d'alarme** lancé par d'éminents physiciens (...) qui ont insisté sur la **discordance complète** existant entre **l'esprit de la science en marche** et l'enseignement des sciences à tous les degrés. L'Académie des Sciences a alors réuni une conférence d'experts à Woods Hole en 1959 comprenant un ensemble important de mathématiciens, physiciens, biologistes et psychologues américains, plus une invitée étrangère en la personne de **notre collaboratrice B. Inhelder**. Les travaux de la conférence ont été résumés et interprétés de façon très vivante **par le psychologue J. Bruner** de Harvard (*The Process of Education*, Harv. Univ. Press 1961) ».

Or la mention de cette conférence illustre le fait qu'« on a enfin commencé à s'aviser en quelques pays » du déficit dans ce domaine :

---

<sup>26</sup> *National Science Education Standards*, NRC, National Academies Press, 1996, p. 31.

<sup>27</sup> *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*, NRC, National Academies Press, 2000.

<sup>28</sup> Présenté ainsi par l'*Education Encyclopedia* américaine,  
<http://education.stateuniversity.com/pages/2401/Schwab-Joseph-1909-1988.html>

« (...) l'enfant devient capable à la fois de **combiner ces hypothèses** et de les **vérifier expérimentalement** (...), il va de soi que l'école se doit de **développer et d'orienter de telles capacités** pour en tirer une éducation de **l'esprit expérimental** (...) insistant sur la **recherche** et la **découverte** plus que sur la répétition. » (Piaget, 1965, p. 77).

J. Schwab (1962, p. 55) souhaitait pouvoir déterminer la pertinence, du point de vue de l'*inquiry*, des divers "programmes" américains, terme qui désigne des contenus mais aussi des séries de séquences détaillées que suivent de très près les professeurs, et répertoriées dans un manuel. Il élabore pour ce faire une échelle de "guidance" en travaux pratiques, avec trois niveaux d'"ouverture et permissivité" (*openness and permissiveness*) suivant ce qui est fourni (given) aux élèves ou doit provenir d'eux (open), échelle reprise ensuite par M. Herron (1971) qui ajoute le niveau 0 :

| Levels of guidance | Problem | Ways / Means / Methods | Answers / Interpretations |
|--------------------|---------|------------------------|---------------------------|
| Level 0            | given   | given                  | given                     |
| Level 1            | given   | given                  | open                      |
| Level 2            | given   | open                   | open                      |
| Level 3            | open    | open                   | open                      |

Au niveau 0, problème, méthode et interprétation des résultats à obtenir sont fournis par le professeur, tandis que le niveau 3 est celui de guidance minimale.

L'analyse par Herron des programmes étiquetés "discovery teaching" lui fit estimer que plus de 80% d'entre eux se situaient au niveau 0.

Dans un bilan sur l'échec de l'enseignement par *inquiry*, P. Tamir (2000, p. 829) compare cette analyse à une autre effectuée en 1992 :

« L'analyse de Herron montre qu'il y a **une différence massive entre théorie et pratique, en dépit des proclamations** selon lesquelles les travaux pratiques ont changé, d'une activité de vérification-démonstration avec les programmes traditionnels à une activité d'enquête avec les nouveaux. Des **résultats similaires** ont été obtenus par d'autres auteurs examinant différents programmes (Tamir et Garcia, 1992). »

Une situation confirmée par R. Bleicher (1994), qui étend le constat :

« Les niveaux 0 et 1 sont des situations que Tamir (1992) nomme "travaux pratiques de vérification", destinés à **valider les leçons du professeur ou les données du manuel**. C'est **de la science de recette de cuisine** (*cookbook science*), où l'on indique à l'élève toutes les données du problème, comment faire l'expérience, et même les résultats attendus dans le cas du niveau 0. Au niveau 3, on présente à l'élève un phénomène, mais il **doit poser son propre problème ou une hypothèse, concevoir** une méthode quelconque **pour la tester**, et utiliser les données ou les observations **pour nier ou apporter un appui à cette hypothèse**. (...) Dans un tour d'horizon majeur des études scientifiques durant la première moitié des années 1980, Yager and Penick (1987) (...) ont découvert que, dans beaucoup de cas, des travaux pratiques n'étaient pas offerts aux élèves, et que lorsqu'ils pouvaient en bénéficier, les activités étaient simplement destinées à **vérifier la leçon ou le manuel**. Ceci restant vrai pour des écoles de différentes philosophies, **y compris** des écoles utilisant le matériel des approches de type *Inquiry* et *Discovery*. (...) les chercheurs rapportent que **l'essentiel des travaux pratiques scolaires en sciences est de niveau 0 ou 1**. (...) Bien que ce soit proclamé en théorie, le développement pratique de programmes de laboratoire qui dans les faits atteignent les niveaux 3 ou 4 sont **presque inexistant** dans la plupart des écoles américaines. »

Selon Chinn & Malhotra (2002), la plupart des activités pratiques peuvent être qualifiées de *cookbook science*. Ils en distinguent trois catégories : « simples expériences, simples observations, et simples illustrations », qui ont très peu de ressemblance, en termes de processus cognitifs, avec les activités des scientifiques :

« De nombreuses tâches d'enquête scientifique données aux élèves ne reflètent pas les attributs qui sont au cœur des raisonnements scientifiques authentiques. Les processus cognitifs nécessaires pour accomplir avec succès de nombreuses tâches scolaires sont souvent qualitativement différents de ceux nécessaires pour s'engager dans une réelle recherche scientifique. En fait, **l'épistémologie** de nombreuses tâches scolaires d'*inquiry* est **antithétique avec l'épistémologie de la science authentique**. » (p. 175).

Pourtant aux Etats-Unis, en février 1996, la *National Academy of Sciences*, la *National Science Teachers Association* (NSTA) et l'*American Association for the Advancement of Science* (AAAS), organisme qui publie la revue *Science*, avaient affirmé conjointement :

« Pour assurer l'efficacité de l'enseignement des sciences, il faudrait que chaque élève puisse participer fréquemment et activement à l'exploration de la nature dans une démarche rappelant celle empruntée par les scientifiques. »<sup>29</sup>

Cependant George D. Nelson (1999), le directeur du *Project 2061*, projet lancé en 1985 par l'AAAS et visant à élever le niveau des connaissances scientifiques du peuple américain d'ici le prochain passage de la comète de Halley, ajoute le commentaire suivant :

« Mais il y a de nombreux obstacles (...). Les programmes, les manuels et l'enseignement continuent d'être **centrés sur la quantité** et non la qualité (...). **Les méthodes d'instruction scientifique actuelles** (...) mettent en avant **l'apprentissage de réponses plutôt que l'exploration de questions**, la mémoire aux dépens de la pensée critique »<sup>30</sup>.

Derek Hodson (1993) remarque de son côté que bien souvent les enseignants, tout en portant haut la valeur des investigations ouvertes conduites par les élèves, ont des pratiques de classe ne parvenant pas à soutenir cette proclamation.

Avi Hofstein et Vincent Lunetta (2004), qui ont procédé à deux tours d'horizon à vingt ans de distance (1982 et 2002), établissent à la fois un état des lieux international et une estimation de l'évolution, ou de la stagnation, sur ces décennies :

« Plusieurs études ont montré que les élèves et les professeurs sont souvent préoccupés par **des détails techniques et manipulatoires** qui consomment l'essentiel de leur temps et de leur énergie. De telles préoccupations limitent sérieusement le temps qu'ils peuvent consacrer à des enquêtes significatives, conceptuellement conduites. Woolnough (1991) écrit que pour ces raisons, la contribution potentielle des expériences de laboratoire dans la construction de concepts majeurs a généralement été bien plus limitée qu'elle aurait pu l'être. Des commentaires semblables ont **souvent été faits durant les 20 dernières années**. » (2004).

Les auteurs citent Gunstone (1991) qui signale qu'en général les implications des élèves dans des activités techniques leur donnent peu d'occasions de réaliser le sens de "leur" enquête :

« Selon Gunstone, l'enjeu est d'aider les apprenants à **prendre le contrôle de leur propre apprentissage** dans la recherche de la compréhension. Dans ce processus, il est vital de réunir des conditions qui encouragent les apprenants à **poser des questions, suggérer des hypothèses, et concevoir des investigations** – "l'esprit aussi bien que la main à la pâte" ("*minds-on as well as hands-on*"). Il est nécessaire de fournir aux élèves de fréquentes occasions de retour (*feedback*), de réflexion et de **modification de leurs idées** (Barron *et al.*, 1998). »

Or, la recherche internationale s'accorde sur le déficit en la matière :

« Ainsi que Tobin (1990) et Polman (1999) l'ont noté, en général, **les recherches n'ont pas fourni de preuves que de telles occasions existent** dans la plupart des écoles des États-Unis, **ou, sur ce point, dans d'autres pays**. »

Les élèves suivent plutôt passivement les événements, alors qu'ils sont "en activité" :

---

<sup>29</sup> Cité par Nelson, G. D. (1999), texte traduit sur le site [http://www.tryscience.org/fr/parents/ss\\_3.html](http://www.tryscience.org/fr/parents/ss_3.html)

<sup>30</sup> *Id.*

« Chang & Lederman (1994) et d'autres (par exemple Wilkenson & Ward, 1997) ont observé que les élèves n'ont souvent **pas d'idées claires sur les objectifs** généraux ou spécifiques de leur travail dans les activités scientifiques de laboratoire. D'autres études ont montré que les élèves perçoivent souvent, comme objectif principal d'une investigation en laboratoire, *suivre les instructions*, ou *obtenir la bonne réponse*. »

« Pour beaucoup d'élèves, un T.P. ("*a lab*") signifie **manipuler des équipements, mais pas manipuler des idées**. »

« Plusieurs études ont rapporté que très souvent les enseignants impliquent principalement les élèves, en travaux pratiques, dans des **activités de routine de niveau relativement peu élevé** (*low-level activities*) et que les interactions professeur-élève se centrent principalement sur des **questions et des réponses procédurales** de bas niveau. »

Comme en France, le lien entre ce qu'ils font et les idées correspondant à ce qu'ils font est déficient :

« Souvent, les élèves ne comprennent pas et ne questionnent pas **la relation** entre le propos de leur investigation et l'objectif de l'expérience qu'ils ont réalisée, **ils ne connectent pas l'expérience** avec ce qu'ils ont fait au préalable, et ils notent rarement l'écart entre leurs propres concepts, ceux de leurs pairs et ceux de la communauté scientifique (voir par exemple Champagne, Gunstone, & Klopfer, 1985; Eylon & Linn, 1988). »

« Lunetta and Tamir (1979) ont mis au point un ensemble de protocoles (...) qu'ils ont utilisé dans les années 1980 pour analyser systématiquement plusieurs programmes de travaux pratiques d'écoles secondaires. Des protocoles similaires ont été utilisés plus récemment **en Australie** par Fisher *et al.* (1999). Ces analyses continuent de montrer qu'à ce jour, beaucoup d'élèves s'engagent dans des activités de laboratoire dans lesquelles ils **suivent des recettes** et réunissent et enregistrent des données **sans un sens clair des objectifs** et des procédures de leur investigation et de leurs interconnexions. (...) les élèves ont rarement l'occasion d'utiliser des aptitudes cognitives de haut niveau ou de discuter des connaissances scientifiques de fond associées à l'investigation, et beaucoup des **tâches qui leur sont présentées** continuent à suivre **une approche "de livre de cuisine"** (*a "cookbook" approach*) (Roth, 1994). »

Hofstein et Lunetta concluent en regroupant les résultats de recherches de différents pays, pour caractériser l'état de l'enseignement des sciences moderne :

« En résumé, les données collectées **dans de nombreux pays** ont continué à suggérer que les enseignants passaient de longs moments lors des travaux pratiques **à diriger** le travail, et **non à solliciter et à explorer des idées** ou en **mettant au défi les idées des élèves**, les encourageant à considérer et à **tester des hypothèses et des explications alternatives**. »

Ils estiment par ailleurs que les recommandations, les "standards" et les réformes n'ont eu "qu'une influence marginale" sur le contenu des guides de laboratoire et sur les pratiques qui s'ensuivent :

« Clairement, **de sérieux écarts** existent entre **ce qui est recommandé** pour enseigner en travaux pratiques et **ce qui se passe réellement** dans de nombreuses classes. » (2004).

Plus récemment encore, le *Handbook of Research on Science Education* (Abell & Lederman, 2007), qui présente une synthèse de la recherche dans le domaine de l'enseignement des sciences, reprend l'essentiel de ces conclusions<sup>31</sup> :

« Le modèle prédominant pour l'enseignement des sciences visible dans les écoles au tournant du 21<sup>ème</sup> siècle (...) a limité le développement des capacités de résolution de problèmes. Dans ce cadre, les activités de travaux pratiques ont principalement engagé les élèves à **suivre des procédures ritualisées** de **vérification** des conclusions **précédemment présentées** par les manuels et les professeurs. En général, les élèves ont une liberté et un temps limités pour explorer et donner du sens aux phénomènes. (...) Duschl et Gitomer (1997, p.65) ont noté que les professeurs tendent à voir l'enseignement comme "dominé par les tâches et les activités plutôt que par les structures conceptuelles et le raisonnement scientifique". »

---

<sup>31</sup> Lunetta, V.N., Hofstein, A. & Clough, M.P. (2007). "Learning and Teaching in the School Science Laboratory: An Analysis of Research, Theory and Practice", p. 393-442.

Toutes les études générales aboutissent aux mêmes constats. Amerine & Bilmes (1988) estiment les travaux pratiques de *cookbook science*, au lieu d'engager les élèves dans un processus scientifique, exercent et évaluent leurs compétences à suivre des instructions ; Pushkin (1997) dit qu'on leur dicte « quoi penser, comment penser et quand penser » ; Roth (1999) les décrit en basse activité cognitive, passant l'essentiel du temps de travaux pratiques à faire d'autres choses entre eux (*off-task activities*) avec de courtes périodes d'attention pour assurer le nécessaire, Weiss *et al.* (2003, p. 28) rapportent que la grande majorité des leçons de sciences qu'ils ont observées étaient de basse qualité, reflétant « l'apprentissage passif » et « l'activité pour l'activité ».

William H. Schmidt, professeur de psychologie de l'éducation à Chicago, comme le fut Dewey, a caractérisé l'enseignement scientifique américain, riche de nombreuses tâches et activités mais pauvre en termes de formation de l'esprit, selon une formule souvent répétée depuis : « large d'un mile et profond d'un pouce » (*a mile wide and an inch deep*, Schmidt *et al.*, 1996, p. 34).

Le plus édifiant à l'issue de ce bilan est sans doute de revenir, un siècle après qu'ils ont été prononcés, aux propos mêmes de John Dewey en 1909, qui, après avoir placé au premier plan « la science en tant que méthode », ajoute :

« La force de cette assertion n'est pas de même nature que le lieu commun de l'instruction scientifique selon lequel les manuels et les cours ne sont pas suffisants ; et que les élèves doivent avoir des travaux pratiques. (...) L'attitude **mentale** de quelqu'un n'est pas nécessairement changée **juste parce qu'il s'engage dans certaines manipulations physiques et manie certains outils et matériaux**. (...) On a seriné à presque chaque enseignant l'inadéquation de la simple instruction livresque, mais la conscience de la plupart d'entre eux est tout à fait en paix dès lors que les élèves sont placés dans quelque activité pratique. N'est-ce pas là le chemin même de l'**expérimentation** et de l'**induction**, par lequel la science se développe ? » (1910, p. 125).

#### 1.1.2.4. Dogmatismes *versus* libre émission d'hypothèses

##### Travaux pratiques dogmatiques.

Les analyses de séquences ont montré comment l'expérience était souvent introduite comme argument d'autorité. Ce n'est pas le livre ou le maître qui parle : c'est elle. Certes, le temps n'est plus où, sur une question scientifique, se tourner vers Aristote était un argument décisif, qui faisait pester Galilée :

« Quelle honte (...) d'entendre interrompre un adversaire pour citer un texte, souvent écrit dans un tout autre but, et lui clore ainsi le bec » (1632, p. 225).

Mais le logicien et épistémologue J.-B. Grize (1992), examinant le discours scientifique, note que si le locuteur prend souvent en charge ses propos, il lui arrive aussi de se retranche derrière une autre autorité qui lui sert de « parapluie », et c'est justement Galilée qui est pris en exemple :

« il est des circonstances dans lesquelles il souhaite être non la source de ce qu'il propose, mais **seulement le témoin**. Il se réfugie alors derrière une autre autorité et on a ce que j'ai appelé quelque part "**l'effet parapluie**". Une illustration *ad hoc* serait la suivante :

Galilée a dit que la Terre tournait autour du Soleil.

Si vous n'êtes pas d'accord, prenez-vous-en à lui, moi je n'y suis pour rien. »

Alain Monchamp (1995) reconnaît dans cet effet le procédé utilisé par les enseignants observés :

« Le discours du professeur est **rendu incontestable** par l'appel à des "arguments d'autorité" dont le montage expérimental fait partie ("effet parapluie"). Le procédé est donc davantage de nature **rhétorique** que scientifique. » (1995, p. 99).

Qu'il s'agisse d'expériences ou de documents, leur but est de *montrer* pour appuyer le discours de l'enseignant, déjà prononcé ou à venir.

Ce retranchement revient à déclarer : « Je n'impose pas ce que je dis : voyez, les faits parlent par eux-mêmes. » Or, si les résultats expérimentaux "parlent" mieux qu'Aristote, et s'il est légitime de s'adresser à eux plutôt qu'à des passages savamment combinés du philosophe grec, comme le fait Galilée, cela ne signifie pas pour autant que les faits parlent "d'eux-mêmes" et qu'ils puissent avoir une valeur éducative réelle pour les élèves sans que rien d'autre que les programmes ne les sollicitent.

On a alors affaire à une "démonstration" dogmatique, au sens où l'entendait Gabriel Gohau, qui précisait aux *Erice lectures* de 1977 (texte republié dans *Aster* en 1987) :

« L'expérience est "**parachutée**". Comme **Athéna**, elle surgit toute armée **du cerveau du maître**. On traite de **dogmatique** la méthode traditionnelle expositive, mais **est-on moins dogmatique** quand on **expose une expérience** que lorsqu'on expose une théorie ? Dans l'un et l'autre cas, le maître présente un savoir élaboré, en épargnant aux élèves l'effort d'analyse ayant permis la découverte progressive de ce savoir. D'autre part, on **laisse croire que l'implication qui unit la théorie à l'expérience est réciproque**. Ce qui est un non-sens du point de vue de la logique formelle. L'expérience, fait particulier, est une conséquence de la théorie, énoncé général, mais l'inverse est évidemment absurde. »

La valeur accordée à l'expérience, sa place en classe par rapport à la théorie et les implications épistémologiques qui s'y trouvent attachées ont fait l'objet d'une analyse particulière par Gabriel Gohau dès 1965. À cette époque, en France, on délaisse l'expérience illustrant seulement la théorie pour lui préférer celle y conduisant, selon un processus qui se veut conforme à la "redécouverte" par les élèves des concepts à acquérir, approche prônée officiellement depuis 1952<sup>32</sup> (voir partie 1.3.5.).

Dans une analyse contemporaine de ces instructions, sur laquelle G. Gohau s'appuie, G. Canguilhem (1952) reproche l'enseignement de faits pour eux-mêmes, prenant en exemple la conservation de volume d'un muscle qui se contracte :

« On sera heureux d'avoir **établi un fait**. Or, c'est un **fait épistémologique** qu'un **fait expérimental** ainsi enseigné n'a aucun **sens biologique**. C'est ainsi et c'est ainsi. » (Canguilhem, 1952, p. 18).

L'expérience citée trouve en effet sans sens historique dans le *démenti* qu'elle apporte à l'idée d'"esprits animaux" pénétrant le muscle. Canguilhem cite un auteur qui, précédant Claude Bernard de plus d'un siècle, n'en est pas moins exemplaire lorsqu'il affirme que les expériences sont faites « afin de s'assurer (...) si les explications proposées par tel ou tel auteur étaient vraies et certaines » :

« Il lie l'**institution de l'expérience à la vérification** des conclusions d'une théorie. » (Canguilhem, 1952, p. 18).

Les vues d'un enseignant belge que nous rapporte G. Gohau convergent également avec celles de Canguilhem :

« Une expérience n'est jamais gratuite : elle est engagée. Seule, elle ne serait d'aucun secours au chercheur qui ne l'aurait préalablement **intégrée dans un contexte de réflexions et d'hypothèses**. » (G.H. Parent, 1964, *in* Gohau, 1965).

Aussi est-il illusoire de vouloir que l'expérience présentée à l'élève, ou qu'on lui fait réaliser, le conduise comme par la main vers la lumière de la théorie. Seul le professeur est depuis longtemps hors des ténèbres :

---

<sup>32</sup> *Les méthodes de l'enseignement du Second Degré*, circulaire du 6 octobre 1952.

« La théorie illumine tant l'expérience de l'arrière que le professeur voit le rapport de l'un à l'autre comme éclatant. Il oublie que **l'élève voit l'expérience par sa face "obscur"**. L'expérience ne conduit **directement** à la théorie que celui... qui connaît la théorie. » (Gohau, 1965).

L'importance d'une prise d'initiative authentique par l'élève est soulignée, et l'artifice habituel du faux dialogue dénoncé :

« Bien sûr, chaque fois que la solution sera à sa portée **on lui laissera le bénéfice de l'invention**. Mais il faut se garder de susciter un feu de réponses dont on extraira la bonne qui, le plus souvent, aura été lancée par hasard ».

G. Gohau a régulièrement dénoncé les contrefaçons d'une telle "redécouverte" et d'approches relevant du même esprit (Gohau, 1971 ; 1977 ; 1983 ; 2002). Cette manière de présenter les choses aux élèves, loin d'éviter le dogmatisme, le renforce puisqu'il assaille l'élève de deux côtés :

« la méthode (...) apparaît tout à fait dogmatique, mais d'un dogmatisme insidieux ; elle impose la théorie **autant que la méthode expositive**. Plus même, puisqu'elle **prétend la "déduire" d'une expérience** que les élèves ont vue. Son dogmatisme caché, son **cryptodogmatisme**, ne peut-il être qualifié de **bidogmatisme** puisque, non content d'imposer le savoir du maître, **il prétend le fonder expérimentalement ?** » (Gohau, 1977).

Gohau (1977) prend un exemple extrêmement parlant, qui met en scène l'"expérience" emblématique du professeur de biologie traditionnel qui, longtemps, a trempé la patte d'une malheureuse grenouille dans de l'acide pour faire noter aux élèves dans quel ordre elle retirait aussi les autres –connaissance dont on ne voit guère ce qu'ils pouvaient retirer. Mais il s'agissait de "prouver" les « lois de Pflüger » (1872), établissant cet ordre. Mais ces lois étant fausses, l'expérience est récalcitrante à s'y plier :

« Ainsi donc, cette "loi", **réfutée des milliers de fois ou plus**, dans les classes des lycées de France, et sûrement d'ailleurs, n'a **jamais été mise en doute**. Les manuels d'enseignement secondaire (...) la transcrivent pieusement, les enseignants la répètent solennellement, tout en se lamentant sur leur propre maladresse (...). Peut-on montrer de façon plus évidente que **l'expérience de cours n'est pas falsifiante ?** »

On se contentait alors de faire noter aux élèves ce qui aurait dû être obtenu, et qui prouve la loi.

A. Geddis (1988) narre le cas, similaire, d'un professeur de chimie qui veut « forcer la main » à ses élèves pour qu'ils reconnaissent qu'une solution de chlorure d'argent s'est assombrie à la lumière de la classe puisqu'elle *aurait dû* le faire, les accusant d'une observation peu méticuleuse. Désautels *et al.* (1993), commentant ce cas, font remarquer :

« même pour un photographe du dimanche, il va de soi que chaleur et humidité peuvent contribuer au dit changement ».

Mais ces idées explicatives n'intéressent pas le professeur :

« c'est plutôt (...) la minutie du regard qui est en cause... »

Ce primat des résultats expérimentaux, réels ou fictifs, fait remarquer à Maryline Coquidé (1998) :

« l'importance donnée aux aspects "concrets" ou manipulatoires entraîne des **confusions entre investigation et expérimentation**. »

« L'expérimentation n'est pas la science » titre même Christian Orange, pour bien appuyer cette distinction, dans un article des *Cahiers pédagogiques* (2002) :

« Bien que systématiquement mise en avant, l'expérimentation n'est **pas la caractéristique fondamentale** des approches scientifiques. Prendre conscience de cela permet d'éviter la rigidification des démarches et de **donner aux expériences toute leur importance** dans **la formation de l'esprit scientifique** des élèves. »

Pour ces aspects concrets qui ne sont guère interrogés, il en va de même, bien sûr, de l'observation, qui apparaît souvent comme un moyen direct de "faire découvrir" ou de "montrer que...".

Or, comme le signale Jack Guichard (1998),

« L'observation d'un objet se construit **à partir des modèles que l'on possède**. Ce sont ces connaissances qui **orientent** l'observation. *L'observation s'appuie donc sur les concepts antérieurement acquis.* » (p. 93).

Pas davantage qu'avec l'expérience, l'enseignant ne peut espérer que l'objet placé sous les yeux ou entre les mains des élèves conduise ceux-ci là où lui veut les mener.

« Le regard que nous portons sur le monde qui nous entoure n'est **pas un regard neutre**, et surtout l'interprétation que nous faisons des faits observés peut conduire à bien des erreurs. Il convient de replacer l'observation **dans toute une démarche scientifique**. » (Guichard, 1998, p. 132).

« **Dans ces conditions**, l'observation peut devenir un outil performant **pour la formation de l'esprit scientifique** des élèves » (*id.*, p. 7).

Ainsi, l'observation ou l'expérience, quelle que soit sa place, joue bien souvent un rôle qui ne permet pas le développement d'une véritable attitude scientifique. Placée après le cours, ou après une introduction, un titre ou encore l'hypothèse unique au caractère peu douteux qui fournit d'emblée la connaissance, elle n'a qu'un statut d'illustration, à force de preuve. À l'inverse, lorsqu'elle est première, on ne peut prétendre en extraire le savoir selon une évidence et une logique qui n'existent que pour l'enseignant.

« Notre enseignement repose sur des évidences qui ne le sont que pour le professeur ! » (Giordan, 1999, p. 42).

Les élèves, eux, voient et interprètent à travers le prisme de leur propre système de pensée ignoré par l'enseignant, à travers ces notions communes, fausses, "fixées profondément" et faisant obstacle, que Bacon (1620) qualifie d'idoles, Piaget (1926) de représentations, Bachelard (1938) de convictions premières indurées, et que reprend l'appellation plus actuelle de conceptions pré-scientifiques (Giordan & De Vecchi, 1987, 1989).

La perte de sens des activités imposées ressort de l'enquête menée par Régine Boyer et Andrée Tiberghien (1989), qui mentionnent ce propos d'élève :

« C'est dommage de se restreindre de poser des questions quand on a de l'intérêt pour quelque chose... Après on ne cherche plus à savoir. »

Michel Develay, en 1989, dresse la liste des « pathologies de la méthode expérimentale dans l'enseignement ». Il observe que l'enseignant est le promoteur d'une situation problème devant s'achever avec la sonnerie horaire, sans appropriation par l'élève du problème énoncé, sans, peut-on résumer, que s'opère la *dévolution* définie par Brousseau (1986, 1998). Les manipulations prennent souvent une place prépondérante :

« c'est le cas de certaines séances qui, très pratiques, s'apparentent à des séances de travaux manuels. Il arrive alors que certains élèves soient munis d'une **fiche de travaux pratiques** sur laquelle ils n'ont **plus qu'à inscrire** les résultats d'une expérience préparée devant eux, **sans avoir à s'interroger** sur les fondements de ce qui leur est proposé. Où alors peut se situer la fécondité au plan des apprentissages de la méthode expérimentale ? »

Develay relève encore le déficit dans l'interprétation des résultats après leur analyse, interprétation d'ailleurs inutile lorsque l'expérience ne fait que confirmer ce qu'a déjà énoncé l'enseignant. Il reprend lui aussi le terme de *cryptodogmatisme*, introduit par P. Hérail (1959) :

« c'est ce culte de l'expérience en tant que **fin en soi** que je considère comme un **dogme** néfaste, et qui conduit à ce que j'appellerai le **cryptodogmatisme** dans la perspective actuelle, car j'ai pu constater à ma grande surprise que certains débutants se croyaient automatiquement à l'**abri de tout dogmatisme** en multipliant les expériences. N'ai-je pas même entendu un jour cette savoureuse définition : "**Une leçon dogmatique, c'est une leçon sans expérience**" !!! »

Au-delà, ce terme désigne « une démarche entièrement guidée en sous-main » (Astolfi *et al.*, 1998).

L'expérience qui amène ou vérifie le concept du professeur n'a pas le même statut que celle qui éprouve celui de l'élève.

G. Gohau, qui dès 1977 signalait l'emprise du double dogmatisme, toujours dénoncé par A. Giordan en 1999 (p. 41), indique également des pistes pour s'en extraire. Son exemple presque caricatural des fausses « lois de Pflüger » a montré que l'expérience de cours était non falsifiante. « À moins de l'utiliser pour falsifier précisément », poursuit-il, ce qui suppose la mise à l'épreuve d'hypothèses fausses :

« Le problème est donc, pour **introduire la contestation** dans l'éducation scientifique, de **permettre une expérience falsifiante**, puisque la falsification est le mode de contestation de la science. **Un tel enseignement serait dit**, par rapport au précédent, **antidogmatique**. » (in Giordan (coord.), 1978a, p. 97-98).

Autre antidote à l'expérience-Athéna avancé par G. Gohau, cette idée, souvent citée depuis (par exemple Lacombe, 1989 ; Demounem & Astolfi, 1996...) :

« la résolution d'**énigmes policières** ne favorise-t-elle pas la maturation de l'esprit scientifique ? (...) Et après tout, si l'on formait aussi l'esprit scientifique en lisant de bon romans policiers ? » (Gohau, 1977).

Il cite à l'appui une nouvelle d'Edgar Poe, là où aujourd'hui la description de la marche de la science lui paraît encore mieux correspondre à la succession d'hypothèses erronées du *Nom de la Rose*.

### **Et l'enseignement « par problèmes » ?**

C'est justement l'esprit de l'enseignement par résolution de problèmes, prôné depuis longtemps dans le monde anglo-saxon à la suite de Dewey (Pochet, 1995), et largement promu en France par les textes officiels depuis 1968 :

« Les textes officiels, (...) dès 1977, ont défini **l'enseignement par problèmes** comme un contrat qui lie chaque enseignant à l'institution, tant la légitimité scientifique et pédagogique de cette démarche, malgré les difficultés d'application, est reconnue. (...) La préoccupation éducative concerne à la fois la formation de l'esprit scientifique et l'atteinte d'objectifs cognitifs et instrumentaux. » (Demounem & Astolfi, 1996, p. 88).

En France, Ph. Brunet (1998) signale :

« **l'enseignement par problèmes** scientifiques guidant les activités expérimentales des élèves est devenu la seule méthode pédagogique prônée par l'Inspection Générale. »

Depuis, les textes officiels, des programmes de Sciences de la vie et de la Terre (SVT) du collège (1996) aux documents accompagnant ceux de Terminale scientifique (2002), mettent fortement en avant les problèmes et sur une "démarche explicative" à partir du problème posé.

Ces derniers spécifient même que l'élève participe « à la formation de son esprit », et ceci

« En **continuité directe avec les évolutions de la didactique de la discipline** des dernières années ».

Cette reconnaissance exprimée, le lien entre « démarche “par problème” » et « démarche scientifique » est explicité :

« L'élève est ainsi mis dans une situation de recherche (**fondement de la démarche « par problème »**) dont le but n'est pas de mimer la véritable recherche scientifique, ni de prétendre faire redémontrer en quelques minutes ce que plusieurs générations de chercheurs ont peiné à découvrir, mais simplement de faire comprendre **ce qu'est cette démarche scientifique**, faite de doute et d'imagination, d'habileté intellectuelle et manuelle, qui permet à la science de se construire par l'incessante **confrontation des faits et des idées**. »<sup>33</sup>

De telles proclamations d'intention font dire à J.-P. Astolfi (2002) :

« Nous sommes dans une situation où bien des options, **longtemps défendues aux marges du système** par les innovateurs et les mouvements pédagogiques, **sont devenues la nouvelle langue pédagogique** des textes officiels, des inspecteurs et des formateurs. »

Ainsi, des “problèmes” ouvrent maintenant les chapitres de la plupart des manuels scolaires, comme les séquences des professeurs -sans jamais, cependant, avoir été clairement définis.

Des travaux importants sur la résolution de problèmes en physique ont été menés à la fin des années 1980, notamment ceux conduisant en Espagne aux thèses, dirigées par Daniel Gil Pérez, de Joaquín Martínez Torregrosa (1987) et Lorenzo Ramirez Castro (1990), et en France à celles d'Andrée Dumas-Carré (1987) et de Monique Goffard (1990).

Les recherches parallèles menées par deux équipes constituées dans les deux pays (l'une à l'Université de Valence, l'autre au LIRESP, *Laboratoire Interuniversitaire de Recherche sur l'Enseignement des Sciences Physiques et de la Technologie*, Paris 7) ont été confrontées (Dumas-Carré, Caillot, Martínez Torregrosa, Gil, 1989), et montrent à la fois une pratique habituelle des enseignants très semblable en deçà et au-delà des Pyrénées, et une convergence sur l'échec généralisé des élèves :

« la plus grande responsabilité doit être recherchée du côté de la didactique habituelle. Ce qui doit être remis en question de façon prioritaire est **la conception même des activités de résolution de problèmes**. »

Au lycée comme en université,

« une très faible proportion d'élèves est capable de performances satisfaisantes, dès lors que le problème à résoudre s'éloigne, si peu que ce soit, de la simple répétition d'un exercice déjà vu. »

Michel Fabre (1999) rappelle les cinq étapes de la démarche de recherche décrites par John Dewey (que nous commenterons en 1.5.2.2.), et y voit le moyen « de récuser l'empirisme et le fétichisme du fait » à l'œuvre dans l'enseignement des sciences : « le problème devient la catégorie centrale de l'épistémologie antipositiviste ». Pour Guy Rumelhard (1997),

« poser un problème scientifique, c'est définir des opérations expérimentales qui conduiront à des observations et des mesures. Ces observations seront en accord ou contrediront les hypothèses qui découlent du problème. »

D'autres travaux portant sur l'enseignement “par problèmes”, dont l'intérêt devrait être de récuser l'empirisme et de permettre la formulation d'hypothèses (Rumelhard, 1997), montrent que leur insertion dans les séquences de classe ne garantit en rien la réorientation vers une épistémologie hypothético-déductiviste (Orange, 1997 ; Coquidé, 1998).

---

<sup>33</sup> *Accompagnement des programmes, SVT, classe de Terminale Scientifique, CNDP, juin 2002, p. 5.*

Mais même si Dewey, Popper et Bachelard sont appelés à l'aide contre le spectre empiriste, l'insertion dans les séquences de classe de problèmes ou de situations-problèmes (Meirieu, 1987) ne garantit en rien la réorientation vers une épistémologie hypothético-déductiviste.

Prenant en compte l'imprégnation des enseignants par le modèle OHERIC et, en même temps, par le discours officiel sur les *problèmes*, Philippe Brunet (1998) signale qu'il peut être éventuellement déguisé sous la forme OPHERIC, sans changer le cadre empirique donnant la primauté à l'observation, tandis que Maryline Coquidé (1998) propose PHERIC pour caractériser les démarches observées dans les classes -sans que cette mutation ponctuelle en altère le caractère très linéaire. Pierre Clément (1998), de son côté, avait proposé THEORIC pour bien montrer le caractère premier de la théorie et de l'hypothèse. Les problèmes proposés sont cependant souvent artificiels et extérieurs au questionnement de la classe, trop généraux ou au contraire réduits à une série de questions sans grand intérêt heuristique (Brunet, 1996, 1998 ; Orange, 1997 ; Coquidé, 1998 ; De Vecchi & Carmona-Magnaldi, 2002 ; De Vecchi, 2005). Une démarche très linéaire s'ensuit souvent, qui minimise le rôle de l'hypothèse au profit de l'expérience-démonstration (Bomchil & Darley, 1998).

### Éviction des hypothèses.

Nous avons vu qu'il n'était pas rare que les hypothèses soient absentes de la démarche, que celle-ci parte d'une observation ou d'une expérience à interpréter ou bien qu'un problème à résoudre ait été énoncé. Et lorsque l'hypothèse est présente, ce n'est en général que la "bonne". M. Develay (1989) relevait que sans hypothèses provenant des élèves, ceux-ci, se consacrant à la "manip", étaient réduits au rôle d'exécutants de tâches manuelles.

E. Orlandi (1991), dans son analyse du cheminement de cinq professeurs de biologie, note que la démarche « est dans les cinq cas de type hypothético-déductif. » Or, interviewés sur l'intérêt des séquences menées, un seul d'entre eux exprime l'idée qu'avec la démarche expérimentale, les élèves apprennent à « envisager et tester un grand nombre d'hypothèses » et que la recherche « est multidirectionnelle ». Encore est-ce lui qui, dans les faits, a énoncé l'hypothèse initiale. Les autres professeurs, en réponse, insistent sur les contenus, la rigueur ou l'acceptation des échecs, mais aucun ne se réfère aux hypothèses.

Bomchil et Darley (1998), montrent, dans leur analyse d'une séquence d'enseignement, comment le professeur peut, tout en paraissant mener une démarche expérimentale, en évincer toute hypothèse qui pourrait être imaginée par les élèves. Ils répondent à une succession de questions, et la conclusion qui s'en suit, bien que nommée *hypothèse*, ne présente guère d'incertitude et n'est rien d'autre que l'objectif de l'apprentissage qu'ils vont alors se contenter de vérifier.

« Ainsi est **bloquée** toute **expression de la pensée divergente de l'élève** et la possibilité qu'il aurait de s'engager dans une analyse personnelle du problème **à partir de ses représentations**. »

Priment alors le problème et l'activité qui va permettre de le résoudre,

« **le rôle de l'hypothèse étant fortement minimisé** à l'avantage de celui des résultats expérimentaux. »

Cette réticence est également relevée par Jean Hébrard (1996, p. 136) :

« Le maître d'école (...) ne saurait, sans **danger**, se permettre de **laisser vagabonder l'imagination** des écoliers ».

Guy Rumelhard (2000) fait le même constat. En Physique, Robardet et Guillaud (1997) confirment cette tendance en décrivant, dans la méthode "dite expérimentale", l'évitement des attitudes « favorisant le doute, les hésitations, les critiques, les reprises, les vérifications » (p. 44-45).

Priment alors l'énoncé du problème et l'exécution de l'activité qui va permettre de le résoudre. Pour C. Orange (2002),

« il est **nécessaire** qu'à côté des activités "pratiques" les élèves, de l'école au lycée, aient la possibilité de **développer des idées explicatives** qui ne se réduisent pas à la production d'une ou deux hypothèses rapidement collectées par le professeur, mais qui donnent lieu à de **véritables débats scientifiques** dans la classe. »

J.-P. Astolfi (2002) estime également :

« Engager les élèves à expérimenter suppose qu'on **encourage leur activité investigatrice et divergente**. (...) Encore faut-il **ne pas faire semblant**, en cherchant à tirer les ficelles par-dessous. »

Car même lorsque l'émission d'hypothèses n'est pas tout simplement absente, diverses observations de classes ont montré le professeur guidant par ses questions l'émission de l'hypothèse qui l'arrange ou extrayant celle-ci de la foule des idées qu'il ignore, faisant d'elle une hypothèse de Polichinelle puisque dès lors tout le monde se doute bien que c'est "la bonne".

Le professeur laisse alors miroiter l'appui sur les idées des élèves, pour n'en rien faire :

« Ce qui arrive vite, c'est une certaine déception dès que les élèves comprennent l'artifice qui **les invite à essayer, inventer, diverger**... en même temps qu'on ne les laisse **pas s'éloigner des chemins balisés**. Ils sont démobilisés par le fait que l'ouverture pédagogique soit récupérée aussi vite que la porte s'entrebâille. » (Astolfi, 2002).

D'autres fois, l'émission d'une hypothèse n'est pas difficile à obtenir, hypothèse fantoche qui n'a rien de douteux et n'est pas autre chose qu'une certitude à laquelle on colle temporairement cette étiquette, comme dans cet exemple observé en classe de Troisième et provenant, pourtant, d'une formatrice d'enseignants :

Problème : "Comment notre organisme capte-t-il les stimulations de l'environnement ?"  
Hypothèse : "C'est grâce aux organes des sens."

Ce qui revient à faire "supposer" à des élèves de 14-15 ans qu'ils voient avec leurs yeux, entendent avec leurs oreilles... Sans doute doit-on mettre ces "idées" à l'épreuve :

Tests : "on fait plusieurs stimulations et on regarde les résultats" ; "on coupe les organes des sens et on regarde le comportement".

## **OHERIC vs OPAC.**

Autour des années 90, des modifications du schéma classique OHERIC ont donc conduit les professeurs à mettre plus volontiers en œuvre un style caractérisé par :

- la mise à l'écart de l'hypothèse ;
- la présence d'un "problème" ;
- le rôle majeur des "activités".

À titre d'exemple, en 1996, les programmes du collège en SVT sont présentés en indiquant comme premier des objectifs visés "l'esprit expérimental", et précisent quelle est la « progression pour les atteindre » :

« L'enseignement (...) repose essentiellement sur des **activités pratiques** permettant **l'observation du concret**, la **manipulation**, **l'expérimentation personnelles**, et comporte des aspects **techniques**. Il intègre les apports des **technologies** nouvelles. »<sup>34</sup>

<sup>34</sup> *Sciences de la vie et de la Terre, Programme de 6<sup>e</sup>, CNDP, 1996, p. 67.*

Une partie intitulée « Des activités d'élèves, **base des apprentissages** » stipule ensuite :

« (...) l'enseignement est **construit autour d'activités**, autant que possible, **effectuées** par les élèves, individuellement ou à plusieurs. » (p. 70).

Activités qui disposent dans les programmes d'une colonne spécifique, au collège comme au lycée.

On comprend alors que les enseignants, entendant l'insistance sur les problèmes et les activités, puissent glisser vers des séquences présentant la succession : **observation – problème – activité – conclusion**, schéma dans lequel les hypothèses sont exclues.

Nous proposons, pour caractériser par la suite de telles démarches, de les désigner par le sigle "OPAC". Cette dénomination met en relief l'absence d'hypothèse (même lorsque sont présents des éléments qui en portent le nom sans en présenter le statut), l'hypothèse étant un éclairage provisoire, souvent comparée à une illumination, "un trait de lumière" dit Cl. Bernard (1865, p. 67), que M. T. Ghiselin décrit telles dans son ouvrage de référence sur la méthode darwinienne :

« The elaboration of a **hypothesis** to explain one point has often been seen, upon reflection, to **illuminate previously unsolved problems**. »<sup>35</sup>

### 1.1.3. Constats d'origine institutionnelle

#### 1.1.3.1. Enquêtes internationales

Le rapport sur *L'enseignement des sciences en Europe*<sup>36</sup> (2006, p. 58-65) établi pour la Commission européenne mentionne :

« Dans l'enseignement **secondaire**, les expériences sont principalement utilisées dans une perspective **d'illustration** des concepts, de **vérification** d'une loi, ou dans une **démarche inductiviste** : manipulations, observations et mesures, conclusions. L'élève est alors placé en situation **d'exécuter des manipulations qui lui sont prescrites**, d'**effectuer** des observations et des mesures, les conclusions **semblant s'imposer d'elles-mêmes**, lorsqu'elles ne sont pas **connues d'avance**. »

Une recherche reposant sur l'analyse de fiches de travaux pratiques de physique, chimie et biologie **dans sept pays européens** met en évidence « un objectif commun aux différents pays et différentes disciplines » :

« la **familiarisation avec les objets et les phénomènes** (manipuler des objets, provoquer un événement, observer un événement), un objectif **moins bien partagé** étant **l'organisation d'une démarche** pour traiter une question. »

« Les travaux pratiques de physique apparaissent surtout orientés vers **l'apprentissage des lois** (...), ceux de chimie donnant une grande importance à l'objectif "**apprendre à suivre un protocole** expérimental", ceux de biologie donnant **un peu plus de place à l'organisation d'une recherche** pour traiter une question.

(...) De nombreux travaux menés dans différents pays montrent les difficultés rencontrées par les élèves à "faire le lien" entre les expériences et les théories (...), la **réalisation des manipulations** et des mesures occupant une part importante de leur temps et donnant lieu à des **activités de routine**, au **détriment** de la **réflexion théorique** et de la **réflexion sur l'expérience**. »

Le rapport mentionne aussi :

« de nombreux travaux ont mis en évidence la persistance chez les enseignants de points de vue qualifiés d'empiristes/positivistes naïfs (Van Driel, Verloop et De Vos 1998 ; Glasson et Bentley 2000 ; Abd-El-Khalick

<sup>35</sup> Ghiselin, M.T. (1969). *The Triumph of the Darwinian Method*, Dover, 2003, p. 6.

<sup>36</sup> *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. État des lieux des politiques et de la recherche*. Eurydice, le réseau d'information sur l'éducation en Europe, 2006.

2005), ce qui apparaît cohérent avec les constats concernant la place accordée aux activités expérimentales dans l'enseignement. De tels points de vue donnent une **place essentielle à l'observation**, conférant un **caractère absolu aux faits** expérimentaux ; ils sous-estiment le rôle de la théorie dans la conduite des expérimentations et des observations et la valeur des connaissances scientifiques comme instruments d'explication et de prévision. »

« L'apprentissage peut être vu comme résultat de l'accumulation d'apprentissages partiels résultant de **deux modalités principales** : la **transmission** des savoirs par l'enseignant et **l'activité** de l'élève (**manipulation, observation**). »

Les auteurs notent également :

« ce type de recherches rend nécessaire la clarification des positionnements **épistémologiques**. Quels sont les **aspects essentiels** des démarches expérimentales ? Peut-on considérer qu'une **hypothèse** puisse être vérifiée, réfutée ou corroborée, par une expérience ; à quelles conditions ? En l'état actuel, les réponses à ces questions sont **rarement explicites** ».

Les critiques et propositions qui y sont énoncées reflètent les déficits existant en matière de **formulation d'hypothèses**, de **planification d'expériences**, et de « tâches plus ouvertes leur permettant de développer des **activités de plus haut niveau cognitif**. »

De leur côté, les évaluations internationales PISA de l'OCDE concernent l'enseignement des sciences, de manière marginale en 2003, mais centrale en 2006.

Celle de 2003<sup>37</sup> relève, comme point faible des élèves français, qu'ils ont « des **difficultés dans la recherche d'hypothèses** expérimentales, qui fait appel à **l'imagination** » et présentent, de ce point de vue, des « **résultats décevants** ».

Celle de 2006<sup>38</sup>, où les sciences constituaient pour la première fois le domaine majeur de l'évaluation menée dans les cinquante-sept pays participants, confirme ce déficit, qui est d'autant plus marquant que c'est un point sur lequel les instructions officielles françaises insistent, au moins en sciences naturelles, depuis quarante ans.

Les élèves de 15 ans testés, normalement scolarisés, sont en effet tous passés en France par des programmes mettant « un accent sur la formation aux méthodes », selon une « démarche explicative » qui « amène les élèves à rechercher des hypothèses », ensuite « éprouvées ».

Or, le niveau 6, maximal, de l'échelle *utilisation de faits scientifiques* de PISA 2006, correspond à une telle formation :

« Les élèves de ce niveau sont capables de faire des comparaisons et des distinctions entre des **explications concurrentes** et d'analyser les faits sur lesquelles elles se basent », et aptes à « comprendre que des **hypothèses différentes** peuvent être formulées sur la base des mêmes faits, **confronter des hypothèses concurrentes** aux éléments en présence et formuler un argument logique **en faveur d'une hypothèse** sur base d'éléments provenant de différentes sources. » (vol. 1, p. 109).

Le résultat de l'évaluation indique que **2,6%** des élèves français atteignent ce niveau (vol. 2, p. 39), soit 122 sur les 4700 testés.

Les critères correspondant à ce niveau 6 ne paraissent pourtant pas draconiens, et même si l'on peut sans doute émettre des réserves sur le contenu des tests, il n'en reste pas moins qu'il s'agit de chiffres officiels de l'OCDE, présentés par une *note d'information*<sup>39</sup> sur le site du Ministère de l'Éducation en décembre 2007, et qu'ils révèlent au moins une carence dans ce domaine.

---

<sup>37</sup> *L'évaluation internationale PISA 2003 : compétences des élèves français en mathématiques, compréhension de l'écrit et sciences*, Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance, MEN, mars 2007, p. 138-139.

<sup>38</sup> PISA 2006. *Les compétences en sciences, un atout pour réussir*. Volume 1 (Analyse des résultats) et Volume 2 (Données). OCDE, 2007.

<sup>39</sup> « Élèves de 15 ans : premiers résultats de l'évaluation internationale PISA 2006 en culture scientifique ». *Les notes d'information* - D.E.P.P. - N°07.42, décembre 2007. <http://media.education.gouv.fr/file/97/2/20972.pdf>

La manière dont cette note d'information ministérielle commente ces résultats ne reflète pas une prise de conscience aigüe de la situation. Plus de 97% des élèves de 15 ans en France, selon les données de l'OCDE, sont incapables de faire des comparaisons et des distinctions entre des hypothèses concurrentes et de les confronter aux éléments en présence ; la note ministérielle indique cependant :

« **Ils savent** confronter diverses hypothèses en examinant la pertinence des faits ou données. »

C'est vrai : ils savent le faire. À 2,6% !...

Et dans un pays qui met en avant depuis des décennies les intentions d'une politique résolue dans le domaine de la démarche scientifique.

C'est que le Ministère englobe les niveaux 5 et 6, et conclut sur la maîtrise d'un critère du niveau 6, que ne réussissent que 2,6% des élèves, en l'attribuant aux effectifs des deux niveaux :

« La France possède significativement plus d'élèves de niveaux 5 et 6 (14,6 % contre 11,8 % pour l'OCDE). Ils savent confronter diverses hypothèses en examinant la pertinence des faits ou données. » (note du Ministère, 2007).

Mais les “ tâches à mener à bien ” du niveau 5 sont :

- Analyser et comparer les caractéristiques de groupes de données différents en abscisse et en ordonnée.
- Identifier et analyser des relations entre des groupes de données (présentés sous forme graphique ou autre) dont la variable mesurée diffère.
- Déterminer si les données sont suffisantes pour juger de la validité de conclusions. »

Remarquons que même à 14,6%, cela ne ferait qu'un élève sur 7.

Mais 2,6%, c'est 1 sur 38 : la pédagogie menée forme sur ce point *un seul* élève d'une classe bien chargée, mais 1 est une moyenne, ce qui veut dire que pour de nombreuses classes, c'est zéro, et pour de nombreuses aussi, cela s'élève à deux.

Philippe Meirieu commente :

« Même si l'on peut discuter la manière dont ces objectifs sont évalués par PISA, l'enquête cherche à mesurer la capacité des élèves à « extrapoler », « appliquer des connaissances dans des situations nouvelles », « **élaborer des hypothèses et les vérifier** », etc. Autant dire qu'elle privilégie, à juste titre, les savoirs transférables, l'autonomie intellectuelle, la compréhension des problèmes plutôt que la restitution des solutions. Le moins qu'il nous faudrait faire serait de **nous demander si**, en dépit de quelques **injonctions dans les programmes**, c'est **bien ce type de travail qui est développé** en France, **dans les classes** et au quotidien. »<sup>40</sup>

Sur les résultats de PISA 2003, le *Groupe d'experts français en sciences de l'évaluation internationale PISA* remarquait tout de même en 2006<sup>41</sup> que les résultats montraient les élèves peu à l'aise « dans la phase d'investigation, de recherche et de formulation d'hypothèses » et qualifiait par deux fois d'*étape indispensable* celle des hypothèses :

« **la première étape indispensable** à toute démarche scientifique : la **recherche d'hypothèses** expérimentales » ; « Il semble donc qu'il faudrait insister davantage en classe sur cette étape **indispensable** qu'est la **construction d'hypothèses** expérimentales » (p. 714).

---

<sup>40</sup> [http://www.cafepedagogique.net/lesdossiers/Pages/2007/pisa06\\_Meirieu.aspx](http://www.cafepedagogique.net/lesdossiers/Pages/2007/pisa06_Meirieu.aspx)

<sup>41</sup> « La culture scientifique des élèves français de 15 ans. Résultats de l'évaluation internationale PISA 2003 », *Biologie-Géologie* n°4-2006, APBG, p. 709-718.

### 1.1.3.2. Rapports nationaux

#### Enseignement primaire (1999, 2002).

Les plans de rénovation récemment lancés, par exemple en France (PRESTE, *Plan de Rénovation de l'Enseignement des Sciences de la Technologie*, dans le primaire, dans la continuité de l'opération *La main à la pâte*, et nouveau programme inspiré du rapport de la Commission Bach dans le secondaire), qui insistent sur les démarches jusqu'à proposer le "canevas d'une séquence d'investigation", et, pour le primaire, des exemples de telle séquences, sont une autre traduction des insuffisances constatées. Celles-ci sont mêmes officiellement reconnues. On pouvait déjà lire, en 1989, dans le rapport de la *mission sur l'enseignement de la Physique* (Rapport Bergé remis au 1<sup>er</sup> ministre) :

« il apparaît que l'enseignement des sciences souffre, principalement au niveau du primaire et du collège, d'une **insuffisante formation des maîtres à l'esprit scientifique et à la méthode expérimentale.** »

Certains de ces manques sont exposés depuis 2000 sur le site officiel du ministère de l'Éducation nationale<sup>42</sup> par Jean-Michel Bérard, Inspecteur général :

« préoccupés par ce qu'il fallait bien considérer comme **l'échec de l'enseignement des sciences à l'école primaire en France**, le professeur Charpak et l'académie des sciences emportent la décision des ministres de l'Éducation nationale pour l'opération "La main à la pâte", qui suscite une "remobilisation" et un dynamisme remarquables. »

Il renvoie au rapport de l'Inspection générale intitulé "*Opération la Main à la Pâte et enseignement des sciences à l'école primaire*" (juin 1999) qui compare les départements engagés dans l'opération et ceux qui ne le sont pas, ces derniers servant donc de témoins de ce qui existe encore dans la plupart des classes :

« Les démarches pratiquées dans les classes sont nettement différentes : **descriptive et affirmative** dans les départements non engagés, impliquant **l'activité** de l'élève **et sa réflexion** dans les autres. (...) les effets sont très positifs dans les domaines du comportement social (...) et **de la formation générale de l'esprit.** (...) on peut observer un groupe d'enfants qui se révèle capable de constater sans dépit qu'une **hypothèse** qu'il a formulée (...) n'est **pas validée** par l'expérience, d'imaginer ensuite une interprétation de cet échec (...). Accoutumés à la **séquence logique : observation, formulation d'hypothèses, expériences, conclusion**, les enfants se révèlent capables de réinvestir celle-ci dans d'autres domaines, en dehors des sciences. »

On peut remarquer le pluriel à "hypothèses", même si des interrogations demeurent sur la difficile révolution des méthodes des enseignants qui ne s'accompagne pas d'un vaste plan visant leur formation ou leur sensibilisation.

#### Le rapport Loarer sur le PRESTE : dérive empiriste.

Le rapport Loarer<sup>43</sup>, portant sur le plan de rénovation de l'enseignement des sciences, a été établi par six IGEN (Inspecteurs Généraux de l'Éducation Nationale) à l'issue d'une enquête dans 70 classes et remis au ministre en février 2002 : ses auteurs regrettent que « les résultats constatés sur le terrain ne soient pas à la hauteur des efforts consentis au plan national », et concluent :

« Cette étude a permis de mettre en évidence le **décalage** existant entre le pilotage de la rénovation (...) et ses **retombées dans les classes, plutôt décevantes** : (...) **seuls 15 % des maîtres pratiquent une pédagogie conforme aux spécifications du plan de rénovation** ».

Concernant la démarche préconisée :

<sup>42</sup> <http://eduscol.education.fr/D0027/EXSREN11.htm>

<sup>43</sup> Christian Loarer : *La rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire*, rapport de l'IGEN à Monsieur le ministre - Février 2002, <http://www.education.gouv.fr/syst/igen/rapports.htm#2002>.

« Les maîtres sont assez aisément portés à considérer que les élèves observent, manipulent, effectuent des recherches documentaires voire expérimentent. Le regard porté par les inspecteurs sur leurs pratiques conduit, toutefois, à atténuer à ce jugement flatteur. Ainsi, un maître peut connaître “la théorie de la démarche” (dixit un IEN) sans avoir conscience qu’il ne la met **pas en œuvre** : l’observation et l’expérimentation peuvent **s’insérer de manière artificielle** ou superficielle dans une démarche qui demeure, en fait, **très magistrale**. Ainsi, l’expérience peut être **imposée** par l’enseignant : “on va semer des graines de lentilles dans 7 conditions expérimentales différentes”. De même, des expériences peuvent être réalisées **sans que le moindre problème** apparaisse dans le compte-rendu écrit qui suivra : “on a laissé de l’eau à l’air libre dans la classe ainsi qu’à l’extérieur, dans le jardin. On a fait des expériences : l’eau, mise à l’air libre dans le jardin, s’est évaporée plus vite”. »

« La démarche mise en œuvre pour y répondre [à un **problème**] est assez décevante : **l’émission d’hypothèses n’apparaît pas** et les conclusions ne sont **pas, majoritairement, énoncées par les élèves**. »

« Les traces écrites (...) **valorisent très peu la démarche scientifique** proposée aux élèves : n’apparaissent qu’exceptionnellement le **problème** de départ, les **hypothèses** (...). Si des confrontations entre les élèves ou des groupes d’élèves sont proposées dans la classe, elles ne font l’objet d’aucune rédaction. »

Les inspecteurs relevant que « la trace écrite résulte, dans 30 % des cas de l’activité de l’élève », cela signifie, évidemment, qu’elle n’en résulte pas dans 70% des cas. Mais même lorsque c’est le cas :

« Les écrits de l’élève correspondent essentiellement aux activités suivantes : **description** d’un objet, d’un animal, d’un phénomène, **résumé** sous forme de texte, **relevé d’observations** ou **compte rendu** d’expériences, **annotations** de dessins ou de schémas et **résumés** sous forme de schémas récapitulatifs. (...) **Aucun** des documents prélevés **ne peut être assimilé au “cahier de sciences” inspiré des principes du plan de rénovation** ».

Ces pratiques et ce rapport sont commentés ainsi par un consultant du site de *La main à la pâte* :

« L’esprit des programmes ou de *La main à la pâte* est souvent **mal interprété**. Les enseignants ont lu "faire des expériences", et ils ont **majoritairement interprété cela comme "manipuler à tout prix"** (...). L’enseignant annonce de but en blanc, après une vague phase de discussion souvent restée orale, que l’on va "faire des expériences" (...). C’est bien là l’enseignant qui veut en arriver à ses fins (...). On néglige donc souvent au nom de la "manip qui marche" le tâtonnement expérimental cher à Claude Bernard ou à Célestin Freinet. »<sup>44</sup>

On croirait lire, justement, le jugement de Célestin Freinet sur les instructions de... 1923, dont il faisait remarquer que malgré les critiques portées contre lui, il ne faisait *que les suivre scrupuleusement* : « ces instructions qui contiennent cependant d’excellentes choses et ont le seul tort d’être de la théorie, en **contradiction**, maintes fois, avec la sévère pratique »<sup>45</sup>.

### **Enseignement secondaire (Physique 1996, 2006 ; SVT 2007).**

Le rapport de l’Inspection générale sur *La place de l’expérimental dans l’enseignement de la physique et de la chimie* (IGEN, 1996) s’ouvre sur une note optimiste :

« La comparaison avec de nombreux pays étrangers semble faire apparaître la France comme un pays tout à fait en pointe en ce qui concerne l’enseignement expérimental de la physique et de la chimie. »

Optimisme immédiatement tempéré lorsque l’on s’interroge sur les démarches qui valent à cet enseignement cette excellence, puisque les raisons en sont :

« **La référence à l’expérience** dans l’enseignement, explicitée par les programmes, les horaires dédiés aux **manipulations** d’élèves, mais aussi **l’équipement** disponible ».

---

<sup>44</sup> [http://www.inrp.fr/lamap/?Page\\_Id=33&Action=3&Element\\_Id=1452&DomainPedagogyType\\_Id=1](http://www.inrp.fr/lamap/?Page_Id=33&Action=3&Element_Id=1452&DomainPedagogyType_Id=1), Daniel Plumet (professeur à l’IUFM de Lille), 2004.

<sup>45</sup> *École Émancipée* n°1, 23 septembre 1923.

Le refroidissement s'accroît encore, de ce point de vue, lorsque les inspecteurs généraux poursuivent, hésitant entre les objectifs critiquables et les objectifs absents :

« il n'est **pas toujours évident**, lorsqu'on assiste à une séance de "TP", **de déterminer quels sont les objectifs** assignés par le professeur. Au fond, si certains objectifs apparaissent comme **critiquables**, l'**absence** d'objectifs assignés à une telle séance est certainement ce qui est le plus **néfaste** à l'enseignement expérimental. »

La situation la plus fréquente est celle d'activités expérimentales « destinées à vérifier la validité d'un modèle ou d'une loi ». Pendant le cours, le professeur présente une loi ou un modèle, et il s'en remet aux TP à venir « pour la détermination des ordres de grandeur » et « l'étude des méthodes de mesure ».

« L'appareillage est parfois entièrement conçu et dédié à cette **étude sans surprise**. Ainsi, la platine prévue pour l'étude des mouvements circulaires uniformes permet de **vérifier la validité** de l'expression  $f = m\omega^2 r$  ».

Le rapport spécifie que les situations de ce genre sont légion, et l'enthousiasme disparaît :

« **Leur intérêt n'est pas nul**, car elles permettent de fixer le sens des mots et des propositions (dans l'exemple précédent, on apprend tout de même à déterminer une vitesse angulaire), **mais il est très réduit** et les élèves, en réalisant de telles expériences, **n'apprennent pas grand chose**. Le défaut essentiel de ces démarches consiste à conférer aux "TP" un caractère **aussi dogmatique qu'un cours directif**. Qu'on puisse mettre à leur crédit l'acquisition de **quelques savoir-faire** expérimentaux n'est **pas suffisant** ».

« Remarquons (...) à propos de cette manière de concevoir les activités expérimentales des élèves, qu'il est **grave** de procéder par généralisation et de **prétendre déduire une loi** universelle d'un petit nombre d'expériences. Conclure une telle séance de TP par "la loi est juste", ou "le modèle est conforme à la réalité" n'est pas souhaitable. »

Les inspecteurs indiquent alors *ce qui serait souhaitable*, et qui ne se fait pas :

« **Imaginer a priori** un jeu de modèles et proposer de **faire le tri** parmi ceux-ci à l'aide expériences susceptibles **d'infirmer certains d'entre eux** constitue (...) une **bonne initiation à la démarche scientifique** ... et à la **philosophie des sciences**. »

D'autres activités expérimentales, « permettant de répondre à une situation problème (...), font généralement apparaître les cinq rubriques suivantes » :

- « - observations ;
- formulation d'une **situation problème** à laquelle il faudra répondre, entre autres, par l'expérience ;
- mise au point, pour cela, d'un protocole expérimental ;
- réalisation de ce protocole expérimental ;
- exploitation des résultats et confrontation. »

Revenant sur chacune de ces phases, le rapport précise les attitudes habituelles des professeurs. *La phase d'observation* peut avoir été entreprise lors d'une expérience de cours ou être guidée par un texte rédigé par le professeur, « il faut en effet, pour observer, avoir appris à le faire. » *La formulation d'une question* « est évidemment **le fait du professeur**. La question doit être claire. » Quant à *la mise au point du protocole expérimental*, elle est aussi, généralement, « **le fait du seul professeur**. » Mais pour *la réalisation du protocole expérimental* : « Ce sont **les élèves** qui manipulent. »

Devant une telle description, on ne voit guère d'autre rôle pour les élèves que celui de simples exécutants, de figurants actifs. Des nuances apparaissent tout de même, ainsi que des justifications :

« La visite des classes montre que ce qui est totalement utopique pour tel, est simplement osé pour un autre, et naturel pour un troisième. Une discussion avec les professeurs conduit certains à  **invoquer la "perte de temps"** pour **refuser de laisser de l'initiative** aux élèves. »

On retrouve ici les constats faits par Fillon & Monchamp (1995, p. 111). Cependant, pour les inspecteurs,

« ce n'est pas perdre du temps qu'**expliquer** pourquoi telle opération ne peut être effectuée et pourquoi telle autre, au contraire, a **toute chance de réussir** et, même, de prendre le temps de **vérifier qu'il en est bien ainsi**. Si les mesures de physique-chimie supposent analyse et réflexion, il est aussi nécessaire, **parfois**, que les **représentations** personnelles des élèves soient **passées au crible de l'expérience**. »

On voit que même en prenant ce temps, censé être “d’initiative”, ce n’est que pour *expliquer* quelque chose aux élèves et qu’ils le *vérifient*, tandis qu’il n’est que *parfois* nécessaire de mettre à l’épreuve leurs représentations. La part d’initiative ne paraît pas démesurément accrue. D’autant que les auteurs concluent, se référant à la sagesse orientale :

« (...) le proverbe chinois qui affirme “ce que j’entends, je l’oublie ; ce que je vois, je le retiens ; **ce que je fais, je le comprends**”, ne date pas d’hier ! »

Daniel Beauvils (2001), rapportant que différentes analyses montrent que le recours à l'expérience est moins fondé sur des questions de démarches scientifiques que sur l'idée que celle-ci favorise la compréhension, signale la présence du proverbe chinois dans des documents officiels, et poursuit :

« Mais ces mêmes analyses montrent aussi que les effets de ces activités expérimentales **sur la compréhension**, sur les apprentissages en général, sont en réalité **faibles**. »

Et J.-P. Astolfi (2002, p. 18) se refuse à l’adage chinois :

« On ne peut plus en rester à ces idées simplistes, mais qui ont la vie dure, telles le “*faire pour comprendre*” ou le “*voir pour apprendre*” ». »

En 2006, un nouveau rapport concerne *L'enseignement de la physique et de la chimie au collège*. Il indique, sans que cela surprenne :

« (...) ce sont les professeurs qui privilégient une approche pédagogique participative qui éprouvent en général le plus de difficultés à « finir » les programmes ; a contrario les **professeurs qui privilégient la transmission** des savoirs **sur un mode d'exposition plus magistral** sont moins gênés. » (IGEN, 2006).

Ce dernier mode est pourtant peu compatible avec la *démarche d'investigation*, que, selon le rapport, les enseignants disent bien connaître, et dont ils déclarent partager les objectifs. Beaucoup considèrent qu’ils la mettent déjà en pratique, mais « le regard des inspecteurs tempère quelque peu cette affirmation, notamment au vu des activités expérimentales effectivement pratiquées ».

« De nombreux professeurs pratiquent déjà la recherche de **situations-problème** et **l'appropriation du problème** par les élèves. » (IGEN, 2006).

Gérard De Vecchi, inlassable promoteur des situations-problèmes<sup>46</sup>, situations provocatrices destinées à remettre en cause les représentations des élèves en créant une *rupture* entre ce qu’ils pensent et ce à quoi ils sont confrontés, initiant ainsi une démarche de recherche, s’est réjoui de l’apparition de cette notion dans les programmes :

« En collège, les dernières *Instructions officielles* (...) ont **intégré** les contenus de la didactique des sciences en allant jusqu’à imposer de **mettre en œuvre des situations-problèmes**. Cela nous semble particulièrement **important**. » (2006, p. 20).

Avec lucidité, il se demande cependant :

---

<sup>46</sup> Notamment par ses ouvrages *Faire vivre de véritables situations-problèmes* (avec N. Carmona-Magnaldi, Hachette, 2002) et *Une banque de situations-problèmes, tous niveaux*, tome 1 (2004) et tome 2 (2005), Hachette.

« ... mais **combien d'enseignants sont réellement formés** pour traduire les programmes en véritables situations-problèmes ? » (*id.*).

Les constats présentés par le rapport de l'IGEN montrent que, comme il le redoutait, l'état d'esprit des situations-problèmes qui devrait accompagner cette mise en œuvre n'est aucunement entré dans la classe avec le terme qui en a franchi le seuil de manière purement formelle :

« Les autres étapes leur semblent souvent **plus difficiles à mettre en œuvre**, et on voit bien que nombre d'entre eux **craignent** en particulier de « **perdre le contrôle** » en **laissant trop la main à la classe**, dans des phases cruciales comme celles de **l'émergence des représentations** des élèves, d'élaboration conjointe de **propositions**, ou de discussions. »

« Les élèves sont dans l'ensemble **peu associés à l'élaboration des protocoles** et disposent le plus souvent d'une **fiche**, qui les **guide de façon assez serrée** dans leur progression. L'étape de recherche, l'une des étapes de la démarche d'investigation, est pourtant particulièrement formatrice et apte à mettre les élèves en situation de prise d'**initiative**. » (IGEN, 2006).

Déficiência de l'expression des représentations à travers les propositions des élèves, guidage serré avec une fiche, initiative muselée : souhaitons que les inspecteurs généraux, charitables, n'aient pas envoyé leur rapport à ce pauvre Gérard... Même s'ils envisagent des perspectives d'avenir qui ne peuvent que lui mettre du baume au cœur :

« Les chantiers qui s'ouvrent, tous tournés vers ce même but à atteindre, sont nombreux : (...) renforcer la **culture didactique et épistémologique** des enseignants et de l'encadrement pour favoriser les pédagogies aptes à susciter l'intérêt des élèves pour les sciences, la **compréhension raisonnée des démarches scientifiques** (...); favoriser le développement de l'**initiative**, de l'autonomie, de l'**esprit critique** (...). »

Autant de chantiers qui, s'ouvrant, signalent l'état de déshérence actuel de cet enseignement dans ces secteurs.

Un rapport récent de l'Inspection générale de SVT, intitulé *Mettre les élèves en activité au collège pour les former, les évaluer, les orienter* (2007)<sup>47</sup>, est également disponible. Le déficit de formation épistémologique, les confusions concernant les termes "problème", "hypothèse" et "expérience", et l'"activité pour l'activité" sont relevées :

« La **dimension épistémologique**, c'est à dire une réflexion, même simple, sur ce qu'est la science, **manque cruellement dans la formation** universitaire. La notion de **problème scientifique** est en général assez mal perçue, et on relève une grande diversité du sens donné à la notion d'**hypothèse** ».

« (...) une **activité** peut être conçue comme une **manipulation** guidée par une fiche technique, au service de la description non motivée d'un objet naturaliste. Observer et décrire ne sont souvent pas au service de la **compréhension** d'une fonction ou de l'explication d'un phénomène dynamique. Ainsi conçue, l'**activité a une portée formatrice limitée**. »

« Mais l'enseignement révèle encore, au travers des rapports, des incertitudes pédagogiques assez nombreuses sur le plan de la conception des activités de type expérimental, spécifiques et potentiellement les plus formatrices. Notamment, du fait de la **mauvaise maîtrise de la notion d'hypothèse**, la confusion demeure le plus souvent entre les activités centrées sur la capacité "**manipuler**" (...) et la capacité "réaliser une **expérience**" (ce qui **suppose la formulation préalable d'une hypothèse explicative à éprouver**). »

L'enseignement scientifique est bien dépeint comme devant être centré sur la résolution de problèmes, l'élève devant *proposer* une solution –provisoire, donc une hypothèse :

« Dans la **démarche de recherche d'une explication**, l'élève (...) mobilise ses connaissances pour identifier et exprimer un problème et s'engage activement dans la recherche d'**une proposition de solution en intégrant** le support documentaire adapté **fourni** par le professeur. »

---

<sup>47</sup> Rapport n° 2007- 031, avril 2007. IGEN, Groupe SVT. <http://www.education.gouv.fr/cid5103/mettre-les-eleves-en-activite-au-college-pour-les-former-les-evaluer-les-orienter.html>

Cette description est là pour indiquer qu'une telle proposition de l'élève n'est pas sollicitée, et de ce fait :

« **Dans les meilleurs cas observés, les élèves impliqués ont une vision claire** de ce qu'ils font et tirent les enseignements des résultats avec l'aide des professeurs. »

Le paragraphe suivant avance des considérations mettant en question les compétences des enseignants :

« Comme en témoignent les rapports d'inspection individuelle, la compréhension de l'identité de **l'expérience, par opposition à la simple manipulation** guidée, ainsi que l'utilisation spécifique de **l'hypothèse** pour préciser, avant validation, la nature fondée ou argumentée d'une relation de causalité, sont **loin d'être maîtrisées par les enseignants.** »

Les solutions proposées sont dans une double formation, épistémologique et didactique :

« Seule l'introduction coordonnée d'une **dimension épistémologique** -ce qu'est le savoir scientifique et **comment il progresse** -et d'une **dimension didactique** -ce qu'est la transmission et la construction du savoir scientifique de l'élève -permettra de progresser sensiblement. »

Cet appel à une formation sur ces deux points lancé, le rapport s'achève cependant sur deux paragraphes de résumé qui ne le reprend pas, mais demeure centré sur les activités :

« **En résumé**, il importe de créer les conditions d'un enseignement **fondé sur des activités**, le plus souvent **pratiques** et centrées sur l'acquisition des compétences susceptibles (...) d'apporter un concours spécifique à leur adaptation au collège et à leur réussite.

**Manipulations et expérimentations** sont des puissants facteurs de motivation qui jettent un pont avec la physique, la chimie, les technologies. Elles suscitent une attitude dynamique de l'esprit et développent un outil intellectuel transférable à d'autres **activités**. **Modernisées** autant qu'il est possible de le faire, ces activités concrètes préparent aussi les élèves aux changements **technologiques**, en leur donnant les moyens de comprendre les évolutions de la société. La contribution des enseignements scientifiques n'est pas enfermée dans la discipline ; c'est une raison supplémentaire pour rechercher les moyens de les faire évoluer de sorte qu'ils constituent une culture pour le plus grand nombre. »

Même si cette conclusion sur les activités risque de faire passer au second plan les déficits constatés, ils n'en sont pas moins exprimés, et des solutions, qui ne dépendent pas de l'enseignant, sont exprimées.

### 1.1.3.3. Constats d'inspecteurs (2008)

Afin de disposer, d'une manière à la fois étendue et récente, d'une "photographie" des pratiques actuelle en SVT concernant les démarches et l'initiative des élèves, nous avons soumis au cours de l'année 2007-2008 un questionnaire à six Inspecteurs Pédagogiques Régionaux des académies de Paris, Créteil, Versailles, Caen, Dijon et Aix-Marseille (annexes II).

Chaque inspecteur a une vision étendue correspondant à ses nombreuses visites de classes, et les professeurs souhaitent, lors des inspections, présenter une séance "exemplaire". Les inspecteurs étaient invités à se prononcer sur 35 points concernant la conduite de séquences qui se prêtaient ou qui auraient pu se prêter à des démarches scientifiques, en sélectionnant pour chacun une réponse possible parmi quatre (très fréquent, assez fréquent, rare ou jamais).

Nous pouvons dégager de leur témoignage, dont les réponses sont consignées dans le tableau global présenté ci-après, les points suivants :

- Les activités sont rarement mises en place en dehors de tout problème à résoudre, et le problème provient souvent d'une réflexion des élèves sur un document ou sur une séquence antérieure. Le recueil des conceptions des élèves est cependant rare, et le problème posé implique peu souvent un ébranlement de celles-ci.

- Les “problèmes” sont aussi bien des problèmes scientifiques orientant vers une recherche d’explications, avec une envergure suffisante (et non pas : “comment expliquer qu’un séisme cause des dégâts?”) que de simples questions ne conduisant pas à une recherche d’explication (comme : où se trouvent les chromosomes ?) ou des problèmes pragmatiques de type “Comment faire” (Comment mettre en évidence... ?, Comment savoir si... ?).
- La conduite de la démarche est souvent dogmatique, artificielle, mais assez fréquemment aussi incitative, le professeur “aiguillonnant” les élèves par des questions, sans cependant leur dire quoi faire : “Que proposez-vous maintenant ?” “Qu’en pensez-vous ?” Mais la séquence est rarement conduite d’une manière essentiellement autonome, avec des élèves qui avancent leurs explications, les discutent et sollicitent documents ou activités.
- Après l’énoncé du problème, le passage aux activités est le plus souvent direct, sans lien explicite, ou avec l’annonce que celles-ci vont permettre de le résoudre ou d’éprouver la ou les hypothèse(s) des élèves. Mais elles sont rarement mises en place sur proposition des élèves, pour éprouver leurs hypothèses, et même, pour une inspectrice, *jamais*.
- S’il est rare qu’aucune hypothèse ne soit envisagée, une seule l’est en général ; elle est aussi souvent émise (ou fortement suggérée) par le professeur que par les élèves.
- Les six inspecteurs estiment que pour les élèves, le professeur est, le plus souvent, visiblement dans l’attente de la “bonne” hypothèse parmi celles qu’ils avancent : sa “moue” ou sa satisfaction leur permettent de savoir si celle-ci est bien proposée.
- La plupart du temps, les hypothèses sont admises en tant que telles sans grande discussion, l’examen de leur recevabilité par les élèves est plutôt rare.
- La présence d’une phase de discussion de la pertinence des activités envisagées par rapport aux hypothèses retenues est rare : jamais pour deux inspecteurs, très rare pour un troisième.
- Les documents et/ou les activités sont rarement introduit(e)s en réponse à une demande des élèves, et, là aussi, jamais pour deux inspecteurs, très rarement pour un troisième.
- Le fait de demander aux élèves leurs propositions d’hypothèses et/ou de tests en fin de séance pour pouvoir les analyser en dehors de la classe et y adapter ses apports (documents, matériel) lors de la prochaine séance est une pratique rare, inexistante pour deux inspecteurs.
- Pour quatre inspecteurs, il est rare que le professeur ait pour souci essentiel d’avancer en suivant les propositions des élèves et donc à leur rythme, quitte à déborder sur le cadre horaire envisagé et à rattraper ce temps en ne menant pas une investigation de ce genre pour un prochain sujet : sa préoccupation majeure est de “boucler” le traitement du problème jusqu’à sa conclusion dans le cadre horaire fixé à l’avance.
- Et pour achever la séquence, s’il est assez fréquent (4 inspecteurs) que le bilan soit élaboré par les élèves, le professeur validant ou faisant rectifier les phrases proposées, la règle est que le professeur dicte un résumé (très fréquent pour quatre inspecteurs, assez fréquent pour deux).

Dans le tableau général suivant des réponses des inspecteurs sont portés le nombre de réponses par catégorie (le total excède parfois 6 lorsqu’un inspecteur a coché deux cases), ainsi que trois mentions ajoutées par eux dans des lignes “Autre” (5.6., 7.3. et 10.3.). Certaines cases sont mises en fond grisé pour faire ressortir les données les plus significatives (et en regroupant parfois les colonnes 1 et 2) :

| Lorsque les séquences se prêtaient ou auraient pu se prêter à des démarches scientifiques, quelle estimation faites-vous des différents "styles" ci-dessous ?   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 = très fréquent / 2 = assez fréquent / 3 = rare / 4 = jamais  | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <b>1. PRÉSENCE ET ORIGINE DES PROBLÈMES</b>   | X | X | X | X |
| 1.1. Activités mises en place en dehors de tout problème à résoudre   |   | 1 | 5 |   |
| 1.2. Problème posé par le professeur.   | 3 | 3 |   |   |
| 1.3. Problème issu d'une réflexion des élèves sur un document ou sur une séquence antérieure (sans recueil de leurs conceptions).   | 1 | 4 | 1 |   |
| 1.4. Problème posé à la suite ou à l'occasion du recueil des conceptions des élèves (avec ou sans document).  |   | 1 | 5 |   |
| 1.5. Autre :  |   |   |   |   |
| <b>2. NATURE DES PROBLÈMES</b>  | X | X | X | X |
| 2.1. Simple question ne conduisant pas à une recherche d'explication (ex. "où se trouvent les chromosomes ?"...).   |   | 4 | 2 |   |
| 2.2. Problème pragmatique de type "Comment faire" ("Comment mettre en évidence...?", "Comment savoir si... ?"...).  |   | 5 | 1 |   |
| 2.3. Problème scientifique, orientant vers une recherche d'explications, avec une envergure suffisante (pas "comment expliquer qu'un séisme cause des dégâts?"...).   |   | 5 | 1 |   |
| 2.4. Situation-problème impliquant une rupture ou un ébranlement des conceptions des élèves (ex. « vous dites que ce sont "les poumons qui respirent"... pourtant un rein absorbe de l'oxygène ! »).  |   |   | 4 | 2 |
| <b>3. CONDUITE GÉNÉRALE DE LA DÉMARCHE</b>  | X | X | X | X |
| 3.1. <i>Dogmatique</i> : le professeur impose une démarche stéréotypée qu'il suit face aux élèves, avec passage mécanique d'une étape à la suivante sans lien logique pour eux, succession d'"étiquettes" visibles ou non ("problème", "hypothèse(s)", "expérience", "interprétation"...).    | 2 | 3 | 1 |   |
| 3.2. <i>Artificielle</i> : des propositions sont demandées aux élèves mais les réponses sont dans le titre mis au tableau, dans la suite de la "fiche de TP" ou du document fourni, dans le matériel présent dans la classe...  | 2 | 2 | 2 |   |
| 3.3. <i>Incitative</i> : pour passer d'une étape à la suivante, le professeur "aiguillonne" les élèves par des questions, sans cependant leur dire quoi faire : "Que proposez-vous maintenant ?" "Qu'en pensez-vous ?"  | 1 | 5 | 1 |   |
| 3.4. <i>Autonome</i> pour l'essentiel : le problème énoncé, les élèves avancent leurs explications, les discutent, sollicitent documents ou activités. Le professeur se limite à faire le point, dire ce qui est possible ou non...   |   |   | 5 | 1 |
| 3.5. Autre :  |   |   |   |   |
| <b>4. MISE EN PLACE DES ACTIVITÉS</b>   | X | X | X | X |
| 4.1. Directement après l'énoncé du problème, sans lien explicité avec celui-ci.   | 1 | 3 | 2 |   |
| 4.2. Directement après l'énoncé du problème, le professeur annonçant qu'elles vont permettre de le résoudre.  | 1 | 4 | 1 |   |
| 4.3. Après l'émission d'hypothèse(s) par les élèves, le professeur annonçant qu'elles vont permettre de la/les éprouver.  | 1 | 5 |   |   |
| 4.4. Par proposition des élèves, pour mettre à l'épreuve leur(s) hypothèse(s).  |   | 1 | 4 | 1 |
| 4.5. Autre :  |   |   |   |   |
| <b>5. PLACE ACCORDÉE AUX HYPOTHÈSES</b>   | X | X | X | X |
| 5.1. Aucune hypothèse n'est envisagée.  |   |   | 4 | 2 |
| 5.2. Une seule hypothèse est envisagée ; elle est émise ou fortement suggérée par le professeur.  | 2 | 4 |   |   |
| 5.3. Une seule hypothèse est envisagée ; elle provient des élèves.  | 2 | 4 |   |   |
| 5.4. Le professeur sollicite plusieurs hypothèses ; au cas où les élèves n'en ont qu'une à proposer, il est prêt à en introduire une ou plusieurs supplémentaires auxquelles ils n'ont pas pensé ("sur ce problème, dans l'autre groupe, ou dans l'autre siècle, voilà ce qui s'est dit..."). | 1 | 2 | 3 |   |
| 5.6. Autre : plusieurs hypothèses provenant des élèves sont envisagées  |   |   | 1 |   |
| <b>6. RECUEIL DES HYPOTHÈSES – ATTITUDE DU PROFESSEUR</b>   | X | X | X | X |

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 6.1. Pour les élèves, le professeur est visiblement dans l'attente de la "bonne" hypothèse parmi celles qu'ils avancent : sa "moue" ou sa satisfaction leur permettent de savoir si celle-ci est bien proposée.   | 3 | 3 |   |   |
| 6.2. Les élèves savent que le professeur est dans l'attente d'hypothèses qu'ils devront discuter, sans que son attitude ne trahisse rien sur leur validité.   |   | 3 | 3 |   |
| 6.3. Autre :  |   |   |   |   |
| <b>7. EXAMEN COLLECTIF DES "POSSIBLES"</b>  | X | X | X | X |
| 7.1. Les hypothèses sont admises en tant que telles sans grande discussion.   | 3 | 2 | 2 |   |
| 7.2. Examen par les élèves des hypothèses : critères de recevabilité (cohérence avec le problème, non-contradiction avec des acquis), convergence, "tri sélectif" (le fait que l'hypothèse soit testable ou non n'étant pas un critère de rejet, les élèves ne pouvant en juger). | 1 | 1 | 3 |   |
| 7.3. Autre : choix des hypothèses par les élèves mais sans justification scientifique (savoir "démocratique")   |   |   | 1 |   |
| <b>8. EXAMEN COLLECTIF DES STRATÉGIES CONÇUES</b>   | X | X | X | X |
| 8.1. Présence d'une phase de discussion de la pertinence des activités envisagées par rapport aux hypothèses retenues (sans limitation par la faisabilité, en classe ou ailleurs : le professeur précisera ce qu'il en est).  |   | 2 | 2 | 2 |
| 8.2. Absence d'une telle phase.   | 3 | 1 | 2 |   |
| <b>9. INTRODUCTION DES DOCUMENTS ET/OU DES ACTIVITÉS DE RÉOLUTION</b>   | X | X | X | X |
| 9.1. Les documents et/ou les activités sont introduit(e)s en réponse à une demande des élèves (ils correspondent aux stratégies conçues ou le professeur en fait reconnaître l'équivalence).  |   | 1 | 2 | 2 |
| 9.2. Les documents et/ou les activités ne sont pas introduit(e)s en réponse à une telle demande.  | 3 | 2 | 1 |   |
| <b>10. RÔLE DES ÉLÈVES DANS LA PROGRESSION DE LA SÉQUENCE</b>   | X | X | X | X |
| 10.1. Le professeur ne tente pas d'obtenir des élèves ce qui pourrait justifier à leurs yeux les étapes successives de la séquence, et ainsi leur donner plus de sens.  | 1 | 3 | 1 | 1 |
| 10.2. Le professeur tente d'obtenir des élèves ce qu'il estime nécessaire à l'avancement de la séquence : il s'appuie dessus s'il l'obtient, et le fournit sinon.   | 2 | 3 | 1 |   |
| 10.3. Le professeur demande aux élèves leurs propositions d'hypothèses et/ou de tests en fin de séance pour pouvoir les analyser en dehors de la classe et y adapter ses apports (documents, matériel) lors de la prochaine séance.   |   |   | 4 | 2 |
| 10.3. Autre : répartition des hypothèses à tester dans la classe en groupes de travail  |   | 1 |   |   |
| <b>11. CADRAGE HORAIRE</b>  | X | X | X | X |
| 11.1. Le professeur a pour souci essentiel de "boucler" le traitement du problème jusqu'à sa conclusion dans le cadre horaire fixé à l'avance.  | 4 | 1 |   |   |
| 11.2. Le professeur a pour souci essentiel d'avancer en suivant les propositions des élèves et donc à leur rythme, quitte à déborder sur le cadre horaire envisagé et à rattraper ce temps en ne menant pas une investigation de ce genre pour un prochain sujet.                 |   | 1 | 4 |   |
| 11.3. Autre :   |   |   |   |   |
| <b>12. ÉLABORATION DES TRACES ÉCRITES</b>   | X | X | X | X |
| 12.1 Le professeur dicte un résumé.   | 4 | 2 |   |   |
| 12.2. Le bilan est élaboré par les élèves, le professeur valide ou fait rectifier les phrases proposées.  |   | 4 | 2 |   |
| 12.3. Autre :   |   |   |   |   |

Certaines des questions se recoupent, volontairement : ainsi on peut se demander comment la conduite de la démarche peut être fréquemment *incitative* (3.3.), le professeur ne disant pas aux élèves quoi faire, alors que les propositions d'activités ne viennent pas d'eux (4.4.).

De même, il est rare, pour 4 inspecteurs, qu'aucune hypothèse ne soit envisagée, ce n'est même *jamais* le cas pour deux d'entre eux (5.1.), et cependant il est fréquent que les activités soit mises en place *directement* après l'énoncé du problème (4.1. et 4.2.), donc sans hypothèse y conduisant.

La vision de la classe de SVT "typique" en 2008 –mais pour laquelle tout de même les professeurs ont dû faire un effort particulier, avertis qu'ils sont de leurs inspections- est donc la suivante : un "problème" est posé, qui n'est pas le plus souvent, un problème scientifique visant une recherche d'explication (et appelant donc des hypothèses), mais un problème pragmatique (appelant des

propositions de moyens) ou une simple question, qui oriente vers une obtention d'information. Le professeur mène la démarche, en consultant tout de même les élèves sur le cheminement. Si une hypothèse est émise, c'est la "bonne", provenant soit du professeur, soit des élèves, qui voient alors immédiatement sur le visage du professeur si c'est bien celle qui est attendue. S'il y a plusieurs hypothèses, on ne discute pas leur recevabilité. Les activités sont mises en place soit sans hypothèse, soit en lien celle qui a été émise, mais ce ne sont pas les élèves qui proposent ces activités pour la mettre à l'épreuve –il est vrai qu'ils savent déjà que c'est "la bonne". De toute façon, la pertinence des activités n'est pas à discuter, elles sont "parachutées", et le bilan est ensuite dicté. L'essentiel a été d'arriver à la solution dans l'horaire fixé.

Laissons la conclusion de cette enquête préalable à l'une des inspectrices y ayant participé :

« Tes questions sont malheureusement pertinentes car beaucoup d'enseignants ne maîtrisent pas toute la démarche et la mettent en place souvent de façon directive et j'avoue que remplir ton questionnaire ne peut que me renvoyer à la réalité bien imparfaite des classes. »

## 1.1.4. Les causes d'un échec

Les facteurs du naufrage étaient déjà spécifiés il y a trente ans (Giordan (coord.), 1978a) : d'une part le "sacro-saint programme" (p. 71), contraignant et pléthorique, dans un cadre institutionnel présentant une rigidité et des contradictions telles que les auteurs se demandent « où sont les enseignants héroïques » capables d'y faire face (p. 67). Surtout s'ils ont, en plus, à gérer des classes intenable, tandis que l'Autorité accumule ses commandements (« le bon maître *saura...* »), comme elle dirait à un alpiniste coincé sur une paroi : « Le sommet est à tel endroit, il faut l'atteindre. » (p. 69-70).

D'autre part, une pédagogie reposant sur la tradition de l'empirisme, et des erreurs résultant d'une méconnaissance des données de l'épistémologie et de l'histoire des sciences (p. 47-53).

L'enseignant désireux de transposer une démarche scientifique dans sa classe, qui se trouve confronté à un certain nombre de contraintes matérielles, est également enchaîné par ses propres conceptions (Develay, 1989 ; Chevallard & Joshua, 1991 ; Lakin et Wellington, 1994 ; Bomchil & Darley, 1998).

Giordan & Girault (1994, p. 82) signalent aussi les groupes d'élèves trop nombreux et non dédoublés, situation qui s'est détériorée ces dernières années, notamment en collège.

### 1.1.4.1. Contraintes et difficultés

Michel Develay (1989) dénonce aussi la responsabilité des structures institutionnelles,

« qui réclament davantage de participation des élèves (...) dans le temps où elles décident à la demi-heure près des durées d'enseignement ».

La contrainte de "programmabilité" (Chevallard & Joshua, 1991) joue à la fois sur les contenus à enseigner, dont le corps d'inspection ne tolérera pas qu'ils divergent trop des attendus, et sur le temps imparti pour ce faire. « Le temps du chercheur et le temps de l'enseignant ne sont en rien comparables », rappellent Bomchil et Darley, sur l'année comme du fait du découpage de l'emploi du temps : l'élève doit être "remis en liberté" au bout d'une à trois heures. Une enseignante interviewée dans l'étude de Lakin & Wellington (1994) résume :

« De plus en plus je m'entends dire aux élèves : "lisez ce qu'on vous dit de faire" au lieu de leur dire de *penser* ».

Les remarques sur l'encyclopédisme des programmes sont fréquentes et anciennes, mais celui-ci subsiste cependant. André Giordan (1998, p. 77) le dénonce en un mot :

« La racine du mal crève les yeux : des programmes boursoufflés, confectionnés non sur un projet éducatif, mais sur la base de corporatismes étroits. »

On peut rappeler Claude Bernard :

« Un trop grand nombre de faits entassés pêle-mêle (...) devient une surcharge qui étouffe l'esprit (...). Il ne faut pas imaginer qu'on doit avoir en sortant des lycées des encyclopédistes. (...) Il vaut mieux **savoir moins et bien comprendre** que de savoir beaucoup et ne pas comprendre » (*Principes* [1862-77], p. 216-218).

Jean Rostand (1966) poursuit :

« il va de soi que, par éducation, on n'entend pas seulement l'injection du savoir, mais aussi et peut-être surtout la saine formation de l'esprit. Plutôt que d'entasser dans les jeunes têtes des notions dont la plupart seront inutiles (...), il s'agit de créer en elles les conditions d'un jugement libre ; il s'agit d'enseigner l'humilité intellectuelle, l'aptitude au doute raisonné. »

Le professeur se retrouve pris dans un étau à trois mors, horaire imparti – somme de contenus obligatoires – prescriptions méthodologiques. Ne pouvant étendre le premier terme et ne parvenant à comprimer le second, il n'est pas étonnant que ce soit le troisième qui soit l'objet d'un relâchement, d'autant que c'est celui correspondant à la fois à une insistance moindre et à une plus grande difficulté.

Fillon & Monchamp (1995) parlent d'une véritable « obsession du temps » dans les explications des professeurs :

« En effet, beaucoup de professeurs posent le problème de l'**incompatibilité entre le volume des programmes et la nécessité de faire travailler les élèves**. Ils considèrent qu'ils ne peuvent pas enseigner le programme en entier. Ils développent deux sortes d'arguments :

- l'un ayant trait à la nécessité de **former méthodologiquement** les élèves.
- l'autre reposant sur la **trop grande ambition des programmes** compte tenu de la multiplication des concepts et des capacités des élèves. » (p. 99).

Ils relèvent la contradiction :

« Tout en demandant ouvertement une pratique réflexive de l'élève, **l'institution l'interdit en imposant de très nombreux sujets d'étude** » (p. 88).

Des professeurs tentent néanmoins de composer :

« Il y a des degrés divers dans la participation réelle des élèves à la construction du cours. Cette participation est d'autant plus grande que le professeur est plus **détaché de l'horaire et des programmes**, donc des **contraintes institutionnelles**. » (p. 98).

La plupart des enseignants ne se libèrent cependant pas aisément de ces contraintes, ce qui demande un effort conséquent, tandis qu'au contraire elles peuvent permettre un repli justificatif, les professeurs expliquant qu'ils ne peuvent se payer le luxe de prêter l'oreille aux propositions des élèves et qu'ils doivent imposer l'activité en gardant un œil sur l'horloge de crainte d'avoir une séance "perdue".

« Le **gain de temps** a souvent été désigné comme le responsable du court-circuit de certaines étapes mais l'image qui est donnée de la science s'en trouve déformée » (*id.*, p. 111).

« La nécessité de "boucler" le cours déclenche chez ce professeur une "surdité" qui ne le fait **entendre que son propre discours et les réponses attendues**. L'élève qui ne comprend pas montre pourtant sa bonne volonté.

**Cette situation n'est pas rare.** (...) Évidemment, laisser l'élève réfléchir sur la pertinence de sa réponse par rapport au contexte donné prend du temps, ce qui est très coûteux mais **le rapport efficacité/temps n'en est peut-être pas réduit pour autant** ». (p. 88).

Pour justifier le guidage ferme des élèves, les professeurs invoquent en effet de multiples arguments, tels « la complexité du chapitre », « la reprise nécessaire des bases » ou encore le fait que « *les élèves doivent repartir avec un cours parfait dicté* » (p. 65).

D'autres facteurs concourent à rendre les élèves "passifs malgré l'activité" :

« D'après les témoignages, les justifications d'une telle situation prennent racine dans **le temps** dont le professeur dispose, sa crainte de créer des conditions de travail personnel ou en groupe qu'il ne **maîtrise pas**, le souci de respecter **un certain "standard" de cours-T.P.** que l'institution, les conversations entre professeurs ont pu éventuellement transmettre. » (p. 87).

La manière dont sont rédigés les programmes incite peu à la mise en place de démarches expérimentales plutôt que d'expériences d'illustration : un chapeau général vite lu, quand il est lu, présente les méthodes souhaitées, puis viennent des pages de listes de contenus, qui focalisent l'attention sur le professeur. S'il désire les problématiser, il devra le faire seul :

« c'est à partir des réponses plusieurs fois reformulées qu'il doit imaginer un problème qui pourrait en être le point d'origine. » (Bomchil & Darley, 1993).

Pour Christian Orange (1997) la place donnée aux problèmes dans les instructions pédagogiques, à distance respectable des listes de « faits scientifiques » sur lesquelles se concentre l'attention du professeur, montre que

« l'enseignement à partir de problèmes scientifiques est **vu avant tout comme un moyen de motiver** les élèves. » (p. 8).

Ce qui reste fort réducteur. Mais non seulement les remarques méthodologiques sont placées dans les "généralités", souvent considérées comme du "bla-bla" par rapport à "l'essentiel", mais les réformes censées y inciter ne s'accompagnent pas de politiques de promotion et de formation conséquentes.

L'évaluation de processus créatifs ne paraît d'ailleurs pas simple :

« pas facile d'évaluer **la capacité d'un élève à formuler des hypothèses** (...), à mettre au point un protocole original (...). Beaucoup plus facile, en revanche, d'évaluer, voire de noter, le respect de consignes clairement notifiées sur un protocole fourni aux élèves, la distance entre les résultats expérimentaux obtenus et la norme définie par l'enseignant. » (Bomchil & Darley, 1998).

Par ailleurs, l'expérience personnelle de la science en marche fait en général défaut : peu de professeurs de collège ou de lycée ont eux-mêmes vécu la recherche scientifique. « Cette attitude expérimentale, la possédons-nous nous-mêmes ?, interroge André Giordan (1999, p. 36-37), qui est passé par la recherche en physiologie. Avons-nous eu, dans notre formation, l'occasion de la cultiver ? » Il remarque, et cela peut s'appliquer à l'élève comme à l'enseignant, que l'apprentissage de la méthode expérimentale n'est pas aisé :

« ce qui la rend difficile, c'est qu'elle offre une interaction entre un **irrationnel** (la créativité, qui permet **d'imaginer hypothèses et expériences**) et un **rationnel** (les faits expérimentaux et le raisonnement). »

Gabriel Gohau (1977) estimait que la formation des enseignants devrait être complétée par une formation de chercheur. Au moins une formation en épistémologie pourrait-elle compenser ce déficit, mais rien n'existe de ce point de vue.

### 1.1.4.2. L'épistémologie inductive des séquences de sciences

Ce manque de formation épistémologique pour les enseignants scientifiques est à l'origine de « lacunes qui ont des répercussions directes sur la pratique de la démarche expérimentale » (Giordan & Girault, 1994, p. 83).

Samuel Johsua (1989) relève qu'en physique, le rapport à l'expérimental dans le secondaire est profondément marqué par **l'inductivisme** :

« toute connaissance est réputée **découler** de la monstration initiale. Dans ces conditions, le moment principal est celui de "l'observation" et de la "mesure". La conséquence attendue est la "mise en évidence" des lois. (...) Pourtant, (...) **d'autres options pourraient être envisagées**, comme celles qui sont centrées sur une démarche **hypothético-déductive** et les processus de modélisation (...) mais, il faut le reconnaître, [elles] demeurent encore fortement **marginales** dans l'enseignement courant en France. »

Isabelle Stengers (1988) décrit la « stratégie de rigueur » lorsqu'il s'agit d'initier un élève à la physique : **exposer les "faits"**, et présenter la théorie comme une déduction autorisée par ces faits. Le raccourci qu'elle en donne est alors est saisissant :

« L'idée implicite tant dans l'enseignement que dans la vulgarisation est que, pour tout être de bon sens, la théorie présentée doit **s'imposer comme la seule réponse possible** aux faits en question. L'élève ou le public sont ainsi priés de reconnaître que, à la place de Galilée, Newton, Maxwell ou Einstein, ils auraient **évidemment tiré les mêmes conclusions**, produit la même théorie. » (1988, p. 133).

Pierre Clément (1998), présentant les résultats de nombreux travaux en didactique des sciences naturelles, résume :

« Lors des T.P. de biologie *s.l.*, y compris les sorties sur le terrain (Guiu\*, 1996), **de nombreux enseignants restent inductivistes** ("**Vous n'avez qu'à observer !**") et maîtrisent mal l'idée qu'une observation pertinente doit être armée sur le plan théorique et méthodologique. » (p. 65).

Johsua et Dupin (1993, p. 216-219) rejoignent cette vision :

« dans la cadre pédagogique courant, loin de parcourir l'ensemble du cheminement préconisé par Claude Bernard il s'agit de passer « le plus vite possible » des « faits » à la « loi », en s'appuyant sur la « rigueur », sur l' « observation » et surtout sur les « mesures ». C'est cette réduction, particulièrement naïve, et pourtant prédominante, que nous appelons le présupposé « **inductiviste** ». (...) Ce présupposé n'a fait que gagner en profondeur depuis le début du siècle. (...) Cette façon **inductiviste** de poser le problème de la relation à l'expérimental constitue encore le **credo largement prédominant** de nos jours (...). Le modèle devient la **conséquence** inévitable de l'expérience prototype. (...) l'expérience **parlera d'elle-même**, (...) le discours du maître sera **remplacé** par la **manifestation "évidente"**, "naturelle" de la vérité. »

Demounem et Astolfi (1996, p. 99) évoquent "l'épistémologie spontanée" des professeurs concernant le statut de l'expérience, « qu'il faut bien considérer comme largement empirique et dogmatique ».

Robardet et Guillaud (1997), dans un ouvrage synthétique, caractérisent « l'épistémologie implicite de l'enseignement secondaire actuel » en Physique, et consacrent notamment un chapitre à *l'inductivisme dans l'enseignement scientifique* :

« (...) le recours aux approches **inductivistes** est très fréquent dans l'enseignement secondaire. De **nombreuses études** effectuées tant en France qu'à l'étranger confirment ce diagnostic. » (p. 44).

La signification du terme *méthode expérimentale* est alors fort biaisée :

« (...) dans les classes des collèges et des lycées, on applique généralement la **méthode dite « expérimentale »** dont les étapes sont, dans l'ordre : **observation, mesures puis mise en évidence de la loi**. Le cours de physique fortement **imprégné par l'empirisme** consiste généralement en des activités centrées sur la découverte de lois qu'on suppose **induites** naturellement à **partir des faits** de l'expérience, des phénomènes observés et des mesures effectuées. » (p. 44).

« Dans l'enseignement inductiviste, le modèle d'apprentissage privilégié est celui de la **transmission** et non pas celui de la construction. » (p. 51).

« (...) le recours systématique, en classe, à l'approche inductiviste a pour effet, semble-t-il, de maintenir l'élève dans une attitude de passivité et, donc, ne favorise pas l'activité intellectuelle » (p. 82).

« Il est **rare de voir pratiquer en classe de sciences physiques des approches hypothético-déductives**. » (p. 86).

Ils se réfèrent à un rapport de l'Inspection générale qui, reconnaissant l'inductivisme, recommande la mise à l'épreuve d'hypothèses :

« Les TP-cours (...) sont souvent "**inductifs**" (parfois trop) et, grâce à eux, on se propose de faire découvrir aux élèves, en les guidant, telle ou telle loi. (...) Il faudrait en revanche profiter de ces séances pour faire émettre, parfois, des **hypothèses** aux élèves sur les causes de tel ou tel phénomène physique ou chimique et de chercher ensuite à **confirmer ou à infirmer ces hypothèses** en réalisant des expériences significatives, bref à mettre en œuvre la **démarche expérimentale dont on parle beaucoup mais que l'on pratique plus rarement**. » (p. 86).

Hélène Ayçaguer-Richoux, dans sa thèse (2000), analyse les écarts entre les activités des scientifiques et celles proposées en TP de Physique au lycée, et relève :

« (...) les **consignes** explicites et les **guidages** peuvent induire une activité des élèves **restreinte au "faire"** et ce à un niveau parfois **élémentaire**. » (p. 134).

« Au niveau des démarches et de la manipulation des instruments, nous avons montré comment les activités de travaux pratiques sont construites par les enseignants dans l'objectif de **transmettre des connaissances** et de favoriser leur acquisition par les élèves. Le milieu expérimental élaboré est riche en instruments, mais l'activité est planifiée, et **les guidages sont très forts** » (p. 197).

Jean-Pierre Astolfi, en 2002, dit souhaiter « **interroger la norme scolaire actuelle qui impose la méthode inductive** » (p. 16).

Pour Gabriel Gohau (1977), l'utilisation des méthodes inductives

« **pose un problème épistémologique**, car dans l'ignorance où es l'enseignant des sciences de l'histoire et de l'épistémologie de sa discipline les techniques inductives ont abouti à des absurdités en croyant qu'il suffisait de retourner la méthode traditionnelle déductive pour fonder une pédagogie active de découverte. »

Nous avons vu comme étaient fréquentes les démarches linéaires, partant d'une observation ou d'une expérience et n'incluant pas d'hypothèse, ou seulement la "bonne". On se situe alors dans une approche empiriste et inductiviste qui transmet une image déformée de la science, signalée par de nombreux travaux (notamment Pope & Gilbert, 1983 ; Gordon, 1984 ; Lantz & Kass, 1987 ; Tobin & Gallagher, 1987 ; Hodson, 1988 ; Duschl & Wright, 1989 ; Brickhouse, 1989, 1990 ; Robardet, 1990, 1994 ; Gil, 1991 ; Grobois, Ricco & Sirota, 1992 ; Lederman, 1992 ; Darley, 1993 ; Désautels, Larochelle, Gagné & Ruel, 1993 ; Johsua & Dupin, 1993 ; Abell & Smith, 1994 ; Porlan, 1995 ; Roletto, 1998 ; Porlan Ariza & al., 1998 ; Clément, 1998).

Des études révèlent cependant chez certains enseignants des tendances hybrides, de type "empirico-constructiviste" (Koulaidis & Ogborn, 1989 ; Robardet & Vérin, 1998) résultant d'un "patchwork d'épistémologies" (Roletto, 1998). Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux de Guilbert et Meloche (1993), Lederman & Druger (1985), Lederman & Zeidler (1987), Gess-Newsome & Lederman, (1995), qui montrent que les conceptions des enseignants ne se retrouvent pas toujours dans leurs pratiques de classes –ce qui compte finalement étant bien entendu ce qu'ils font vivre, ou non, aux élèves en classe.

Certains enseignants scientifiques auront d'autant plus le sentiment de remplir pleinement leur rôle que leurs séances s'appuieront sur le concret et comporteront des manipulations, fussent-elles être parachutées et imposées. Ils seront rassurés par le fait d'avoir prévu à l'avance une succession d'étapes, ciselée de manière scientifiquement logique et rigoureuse, ne laissant dépasser aucune aspérité qui pourrait donner prise à l'initiative d'élèves dont on attend surtout qu'ils fournissent le bon mot ou la bonne phrase au bon moment, dans un faux dialogue tel que ceux décrits par Leroy (1970) ou Giordan (coord., 1978a).

Les références fréquentes à l'observation et au concret dans les Instructions Officielles renforcent cette conception, d'autant que l'enseignant peut vouloir

« montrer pour être crédible, (...) montrer aussi pour se démarquer de l'abstraction des mathématiques. » (Bomchil & Darley, 1998).

Et les très nombreux appels officiels à l'appui sur "les faits d'abord" et à une démarche inductive pendant une bonne partie du XX<sup>e</sup> siècle (Hulin, 2000 et 2002 ; Kahn, 1999 et 2002a) ont pu durablement s'ancrer dans les esprits des enseignants qui les reçurent à répétition, et dont les pratiques et les discours ne peuvent que conforter les jeunes professeurs rejoignant leurs rangs dans ce que Porlan Ariza *et al.* (1998) nomment des "tendances-obstacles", par un « processus de socialisation et d'adaptation des enseignants à la culture sociale traditionnelle ».

« C'est **la science expérimentale des instructions ministérielles**, observait Bachelard (1932, p. 12) : pesez, mesurez, comptez ; (...) attachez les jeunes esprits au **concret**, au **fait**. **Voir pour comprendre**, tel est l'idéal de cette **étrange pédagogie**. Tant pis si la pensée va ensuite du phénomène mal vu à l'expérience mal faite. »

Par ailleurs, le professeur connaît peu, ou pas du tout, le mode de pensée d'un jeune enfant ou d'un adolescent. Pire : il le croit conforme au sien :

« L'enseignement des sciences ignore à qui il s'adresse (...). Les pédagogies habituelles des sciences ont toujours consisté à communiquer à l'élève des connaissances (...). Il suffisait de déterminer les connaissances nécessaires, puis de les enseigner à l'élève. Si ce dernier ne comprenait pas, c'est qu'il était paresseux ou pas doué », écrit André Giordan (1999, p. 42).

Gaston Bachelard (1938) remarquait à ce sujet :

« J'ai souvent été frappé du fait que les professeurs de sciences, plus encore que les autres si c'est possible, ne comprennent pas que l'on ne comprenne pas. Peu nombreux sont ceux qui ont creusé la psychologie de l'erreur, de l'ignorance et de l'irréflexion. » (p. 18).

Paul Valéry (1938)<sup>48</sup>, qui avait dit lors d'une remise des prix au collège de Sète :

« Un peu de savoir et beaucoup d'esprit, beaucoup d'activité de l'esprit, voilà l'essentiel »,

ajoute en 1941, en écho à Bachelard :

« Ceux qui comprennent ne comprennent pas que l'on ne comprenne pas. Et ceux-ci doutent que ceux-là comprennent. »<sup>49</sup>

---

<sup>48</sup> *Discours au collège de Sète, in Variété IV*, Gallimard, 1948, p. 204.

<sup>49</sup> *Mauvaises pensées et autres*, Gallimard, 1942, p. 80.

### 1.1.4.3. Des résistances

Ces tendances sont également renforcées par les discours dénonçant des pratiques pédagogiques qui laissent aux élèves une part de liberté que certains jugent rapidement trop importante. Ces critiques, telles qu'elles sont par exemple formulées avec virulence par J.P. Despin et M.C. Bartholy (1983) dans *Le poisson rouge dans le Perrier*, se nourrissent à la fois des discours opposant contenus et méthode, et de certains excès, caricaturaux mais effectifs, ainsi que l'admettent P. Martinet et A. Peyronnet (2006)<sup>50</sup>.

La question du prétendu abandon de l'apprentissage notionnel au profit de "l'éveil à n'importe quoi" nous paraît ne pas devoir résister à cette mise au point particulièrement nette d'André Giordan (1999) :

« L'opposition, les querelles entre partisans des connaissances et partisans des démarches est un faux débat. **Les deux sont indispensables.** (...) Seuls sont en cause un certain nombre de savoirs anecdotiques ».

Permettre aux élèves d'exprimer leurs idées, leurs conceptions, et suivre leurs propositions *une fois leur pertinence analysée*, discutée, ou s'en abstenir en fonction de choix qui restent ceux de l'enseignant, pour des raisons qu'il peut expliciter et qui tiennent essentiellement, à ce moment-là, à son souci de formation de l'esprit de recherche des élèves, est tout autre chose que suivre des pistes sans consistance ni cohérence, mais qui seraient sacrées du simple fait qu'elles proviennent de ceux-ci. Et c'est aussi tout autre chose que cette pratique courante consistant à solliciter les élèves pour finalement ne faire que saisir ou fournir artificiellement les éléments permettant au professeur d'avancer dans son cours.

Pour les auteurs du livre cité, le professeur doit montrer des expériences "bien choisies", et ensuite seulement les faire refaire aux élèves. Leur leitmotiv est qu'"instruire, c'est contraindre", et si pour eux la question d'élève a sa place, c'est quand il a mal compris le cours, et « quoi de plus naturel que de lui répondre en faisant profiter l'ensemble de la classe de sa question et de la réponse. »

Il serait trop aisé de faire remarquer à ces professeurs, qui se plaignent de la "baisse de niveau" et de l'abandon des connaissances de base, que lorsqu'ils supposent qu'à partir de la mousse d'un caillou une *fleur* puisse éclore, ils n'ont pas dû assez profiter des réponses lorsqu'ils étaient élèves :

« Un ami plaisantin et quelque peu malveillant nous a fait remarquer (...) que le caillou aurait pu être mal choisi et se trouver recouvert de **quelque mousse**. Qu'en aurait-il alors été de "l'expérience" **si une fleur avait éclos ?** » (p. 27).

Nous pourrions répondre que ce serait là un résultat surprenant, comme ceux qui initient une recherche pour tenter de l'expliquer. Mais nous pouvons aussi nous demander si, tentant eux-mêmes d'obtenir, en suivant leur propre idée, une jolie fleur à partir de "quelque mousse", les auteurs, n'en voyant jamais éclore au bout des tiges mais seulement des capsules à spores, et ces dernières en germant redonnant de nouveaux pieds, n'auraient pas mieux acquis le concept de "plantes sans fleurs", vainquant leur conception initiale.

### 1.1.4.4. Déviations du sens des mots

Un autre facteur qui contribue à la ruine des recommandations méthodologiques réside dans l'interprétation que l'on peut choisir de faire des termes utilisés, les éloignant de la signification qui leur a été conférée à l'origine. Nous avons déjà rencontré les sens divers attribués aux termes *problème* et *méthode expérimentale*. Chevreul (1850) protestait déjà :

---

<sup>50</sup> « les freins ne sont pas toujours d'ordre objectif », *Les cahiers Pédagogiques* n°443, mai 2006, p. 16.e

« Il faut l'avouer, pour peu qu'on fasse des expériences sur quoi que ce soit, on est censé, auprès de beaucoup de gens, pratiquer la Méthode expérimentale, mais c'est une erreur grave à notre sens. » (*Journal des Savants*, février 1850, p. 72-73).

E. Claparède (1923) avait cru nécessaire de faire le point sur le sens du mot *activité*, et malgré cela,

« en 1980 l'on prétendra que les méthodes actives conviennent même à l'utilisation d'un style dogmatique d'exposition. » (Gohau, 2002 p. 179).

D'autres termes ont souvent subi un sort comparable, tels *expérience*, *démarche expérimentale*, *démarche explicative*, *démarche scientifique*, *investigation* ou encore *inquiry*.

André Giordan (2002) rappelle le sens latin d'*experiri*, éprouver :

« l'imagination débordante du chercheur doit être soumise au test de la réalité », et « cette simple approche change tout ».

Le terme *démarche explicative* a eu ses années d'intense utilisation dans l'enseignement des SVT. Celle-ci a été définie dans un document officiel<sup>51</sup>, qui précise : « cette démarche amène les élèves à rechercher des hypothèses », ce qui n'a pas empêché de voir apparaître une « démarche explicative expositive »<sup>52</sup>, qui est simplement un cours avec élèves passifs.

Le terme *investigation* a aujourd'hui toutes les faveurs, cependant, dès lors que les élèves s'affairent à observer ou à manipuler quelque chose, l'enseignant peut considérer que sa classe est en situation d'investigation. Il a choisi le matériel soumis à examen parce que cela correspond à une connaissance à acquérir : des élèves s'exprimeront plus ou moins dans le sens de l'objectif à atteindre, guidés au besoin par des questions appropriées, et y parviendront ainsi par leur activité et donc sans que tout, en apparence, soit issu de l'enseignant.

Un contact direct avec le réel, au cours duquel l'attention des élèves est attirée sur des éléments remarquables, peut même y suffire : la « classe de terrain » prévue par le programme de Première scientifique en est un exemple significatif. La partie concernée est intitulée : « La classe sur le terrain, une démarche scientifique », et les précisions que donne le programme sur cet exemple éclairent, mieux que les déclarations générales sur la démarche scientifique, sur ce que peut recouvrir ce terme :

« Sur un affleurement ou face à un paysage offrant une grande diversité d'informations, **l'élève est conduit à sélectionner** un objet d'étude **pertinent**. Il apprend à **observer** et **décrire** les objets d'intérêt géologique, puis il **en dégage** des informations importantes. Il sollicite son imagination pour les interpréter et les intégrer à une représentation plus globale de la planète.

La **confrontation entre les données** acquises sur le terrain **et d'autres données choisies** et présentées **par le professeur** permet **d'orienter la réflexion** des élèves vers l'un des thèmes du programme. » (B.O. hors série n°6 du 29 août 2002).

On pourrait s'interroger sur les implicites de ce descriptif de « démarche scientifique », se demander comment l'élève, et non le professeur, sélectionne un objet d'étude pertinent, et pourquoi il s'emploie à le décrire, en prélude au dégageant d'informations qu'il sait, ou suppose, importantes, qu'il interprète à l'échelle du globe. Pour quelle raison aussi, quelles que soient cette importance et l'interprétation à laquelle il est parvenu, il lui faut redescendre au niveau des données pour les confronter avec d'autres qui orientent sa réflexion.

---

<sup>51</sup> *Accompagnement des programmes du cycle central 5<sup>e</sup>/4<sup>e</sup>*, in *Enseigner au collège*, SVT, CNDP, 2002, p. 72.

<sup>52</sup> Présentée par exemple sur le site académique de Besançon,

[http://artic.ac-besancon.fr/svt/act\\_ped/svt\\_lyc/eva\\_bac/didac9899/nouvelle.htm](http://artic.ac-besancon.fr/svt/act_ped/svt_lyc/eva_bac/didac9899/nouvelle.htm)

Mais une enquête réalisée en 2005 auprès de 68 enseignants engagés sur le terrain dans cette démarche nous fournit des indications plus précises (Sanchez, Prieur & Fontanieu, 2005) :

« les enseignants placent en bonne position les propositions « **conduire une démarche d’investigation** » (...) mais « éprouver un modèle » (...) ne vient qu’en 10<sup>ème</sup> position. La démarche du géologue qui consiste à se rendre sur le terrain **en ayant en tête des idées** qu’il souhaite **confronter au réel** ne semble donc pas majoritairement admise par les enseignants ».

« Tous les élèves **dessinent** les objets géologiques, **prennent des notes** sur les **informations apportées** et presque tous légendent ou complètent des documents distribués ».

« Les objectifs (...) c’est à dire conduire une démarche d’investigation scientifique, sont plébiscités mais les conditions de préparation des élèves et les activités conduites ne paraissent **pas de nature à les placer en situation de résolution de problème.** »

Ainsi, sans que les élèves fassent grand-chose d’autre, dans le programme comme sur le terrain, qu’observer et tenter d’extraire des éléments de leurs observations et de ce qui leur est fourni, ils sont considérés par les instructions comme étant en « démarche scientifique », ou en « démarche d’investigation » pour leurs professeurs.

On a vu, pour les anglo-saxons, que le terme *inquiry* était utilisé même pour des séquences de niveau 0 qui sont prévues ou réalisées. Cuevas *et al.* (2005) signalent

« la variété des définitions de *science inquiry* dans la communauté des chercheurs, couplée avec les multiples interprétations d’*inquiry* par les enseignants et les élèves ».

L. Barrow (2006) décrit les dérives du terme depuis Dewey, tout en discutant la manière de transformer les investigations “cookbook” en *inquiry* plus authentiques. Dans son travail de thèse sur les pratiques d’*inquiry* en classe (2007)<sup>53</sup>, A. Karaman signale également l’ambiguïté qui peut faire qualifier d’*inquiry* de simples activités manipulatoires (*traditional hands-on activities*), ce à quoi se refusait Schwab dès 1962.

P. Tamir (2000, p. 829) relève l’aisance avec laquelle est attribué le qualificatif *discovery*, qu’il relie à la tradition épistémologique inductiviste :

« Une “séquence inductive”, dans laquelle les exemples ou les observations précèdent les généralisations, est **inévitablement étiquetée discovery** (...). Cette facilité (...) reflète une **incompréhension** dominante de la manière dont la science est conduite. Elle reflète l’influence pénétrante d’une tradition **habituellement attribuée à Bacon et Mill.** »

#### 1.1.4.5. La peur des cheminements aventureux

Craindre de s’engager dans une voie mal contrôlée est, enfin, un frein important. Dans l’étude d’E. Orlandi (1991), les professeurs affirmaient volontiers :

« on ne peut pas laisser les élèves partir tous azimuts »  
« je ne voyais pas les gamins partir dans tous les sens ».

Jean-Pierre Astolfi (1997) analyse le **statut de l’erreur** à l’école et l’inconfort qui y est lié. Il parle d’une “aversion spontanée pour l’erreur” (p. 10), représentation largement partagée par les enseignants et les parents, et du vertige ressenti à l’idée de « plonger » dans ce qui se passe dans la tête des élèves.

« Rentrer dans le **maquis des explications des élèves**, mettre à jour toute cette gangue résistante, cela fait **peur** à l’idée qu’on risque de s’y noyer (...). La **crainte de s’engluier** nous inquiète sur ce que deviendrait le fil de la

<sup>53</sup> [http://etd.lib.fsu.edu/theses/available/etd-10242007-160930/unrestricted/Ayhan\\_Karaman\\_Dissertation.pdf](http://etd.lib.fsu.edu/theses/available/etd-10242007-160930/unrestricted/Ayhan_Karaman_Dissertation.pdf)

progression, tant il est difficile de mettre bout à bout la logique du savoir et la logique des élèves. Eux **nous tirent vers les marécages** quand nous aspirons à l'air des cimes ». (p. 12).

Mais ces marécages, ou ce que le professeur horrifié perçoit comme tels, correspondent aux espaces où les élèves ont leur propre logique, leur propre vision des choses, à cette "partie immergée de l'iceberg" des conceptions, pour reprendre une autre métaphore proposée par Giordan et De Vecchi (1987) et développée par Pellaud, Eastes et Giordan (2005).

D'autant que les erreurs sont habituellement pourchassées, soulignées, biffées par le professeur souvent victime du « *syndrome de l'encre rouge* » (Astolfi, 1997, p. 11), et que d'autre part elles peuvent le remettre en question à travers un certain constat d'inefficacité quand les élèves commettent ces erreurs qu'on avait pourtant tout fait pour éviter : « quelque chose a résisté à nos explications »... Il faudrait alors accepter une modification du statut de l'erreur (Fabre, 1995), une prise de risque (Vérin, 1998), une rupture de la coutume didactique (Balacheff, 1988).

A. Giordan et G. De Vecchi (1987, p. 9) racontent l'histoire de ce ministre qui fit il y a quelques années une monstration pour montrer ce qu'est enseigner par monstrations, et y réussit parfaitement ! Une carafe dans une main : « *Voilà le savoir !* », un verre sur la table : « *Ceci est l'élève* », et il versa, aspergeant la table dans sa fougue pédagogique, et illustrant ainsi au-delà de toute espérance l'efficacité didactique du procédé –mais donnant également à voir aux professeurs ce qui pouvait être attendu d'eux.

« Erreur, tu n'es pas un mal » écrivait pourtant Bachelard (1938, p. 243) ; et Piaget (1935) :

« une erreur **témoignant d'une recherche véritable** est souvent **plus utile** qu'une vérité simplement répétée, parce que **la méthode acquise pendant la recherche** (...) constitue un vrai **progrès intellectuel** ».

Telle était déjà la vision, dans le domaine pédagogique, de J.-J. Rousseau :

« **S'il ne se trompait jamais, il n'apprendrait pas si bien.** » (1762, p. 219).

Ce que confirme, dans le domaine des sciences, le physicien et épistémologue Jean-Marc Lévy-Leblond (2006)<sup>54</sup> :

« l'essentiel du travail scientifique consiste à débusquer l'erreur. »

J.-P. Astolfi (2002) relève la contradiction entre la volonté affichée de former l'esprit des élèves et la restriction de leur créativité :

« Les professeurs de sciences, **intarissables sur les vertus de l'esprit scientifique**, craignent plus que tout de laisser les élèves s'engager dans des voies qu'ils n'ont pas prévues, et face auxquelles ils redoutent de vite se trouver en **situation d'insécurité** professionnelle. ».

Pour Anne Vérin (1998),

« encourager l'expression de la pensée des élèves (...) peut **engendrer un désarroi** dans la mesure où cela fait apparaître clairement le décalage entre les différentes idées qui sont réellement disponibles pour les élèves, dans leur diversité (...), et l'écart entre les représentations des élèves et le savoir à construire. »

Du coup cette peur, qui fait bon ménage avec l'épistémologie spontanée, à laquelle nous verrons qu'elle est historiquement liée (chapitre 1.2.), étouffe la créativité des élèves.

---

<sup>54</sup> « Mettre la science en culture », *Les Cahiers Pédagogiques* n°443, mai 2006, p. 12-14.

Sheila Tobias (1990, p. 60-61), dans un livre intitulé *Ils ne sont pas bêtes, ils sont différents*<sup>55</sup>, avance que de nombreux élèves brillants délaissent la science faute d'avoir pu y exprimer leurs aptitudes créatrices, du fait de la manière dont elle est enseignée.

W. McComas (2000), président de l'*International History, Philosophy and Science Teaching Group*, passe en revue un certain nombre de mythes concernant la nature de la science, et recense parmi ceux-ci : « la science est procédurale plus que créative. »

« Mythe 7 : malheureusement, beaucoup d'orientations et de méthodes communes d'enseignement des sciences travaillent **contre l'élément créatif en sciences**. La majorité des travaux pratiques, par exemple, sont des activités de **vérification**. Le professeur dit ce qui va se passer, le manuel donne des instructions étape par étape et on attend de l'élève qu'il arrive à une réponse particulière. Non seulement cette approche est **l'antithèse du cheminement effectif par lequel la science opère**, mais un tel portrait doit sembler sec, clinique et **inintéressant** à beaucoup d'élèves. »

Pour lui, le "saut créatif" est un élément nécessaire du processus de génération de la connaissance en science, saut "parfois nommé abduction", référence au terme utilisé par le philosophe Charles Sanders Peirce pour cette étape.

Plutôt que placer les élèves dans d'authentiques situations *problèmes* qui font peur, il est plus rassurant –et moins éprouvant– pour un professeur de prévoir pour eux des situations *probantes*. Probantes dans le sens où les élèves doivent analyser des documents ou réaliser des protocoles expérimentaux apportant des "preuves" plus ou moins directes.

L'élève doit alors *approuver* les idées qu'il reçoit, plutôt qu'*éprouver* les siennes.

En définitive, dans les classes de sciences, **l'hypothèse inquiète, l'expérience rassure**.

Les cheminements aventureux sont délaissés par les professeurs, qui craignent de ne pouvoir contrôler où ils mènent, tandis que l'expérience représente le connu, le maîtrisé, la base stable et incontestable, qui permet au professeur de montrer son savoir-faire et donne à l'élève le plaisir de faire, et le change des cours des autres disciplines.

Mais ils sont également évités parce qu'une longue tradition a valorisé l'expérience, le concret, le visible, **contre** l'hypothèse : le rejet historique des créations de l'esprit, engendrant une formidable défiance vis-à-vis de la spéculation, semble bien être en grande partie responsable de l'épistémologie "spontanée" de nombre de savants eux-mêmes et, dans leur sillage, des enseignants scientifiques.

---

<sup>55</sup> They're Not Dumb, They're Different.

## 1.2. Analyses historiques et épistémologiques des démarches scientifiques

Adso, dit Guillaume, résoudre un mystère n'est pas la même chose qu'une déduction à partir de principes premiers. Et ça n'équivaut pas non plus à recueillir une bonne quantité de données particulières pour en inférer ensuite une loi générale.

*Le Nom de la Rose*, Umberto Eco<sup>56</sup>.

Dans *Le Nom de la Rose*, le moine enquêteur Guillaume de Baskerville, que campe un Sean Connery au regard pénétrant, s'inspire des préceptes de son maître franciscain Roger Bacon (1214-1294), le *Docteur admirable*. Pour résoudre un mystère, s'entend dire le jeune novice, ni la voie purement déductive ni la voie inductive ne sauraient être fécondes. Dans les brumes mystiques du Moyen-Âge perce la maxime de frère Roger, dans un latin que nous comprenons encore aisément : *sola experientia certifiat, et non argumentum*.<sup>57</sup> Sa plume ajoute :

« les plus forts arguments ne prouvent rien, tant que les conclusions ne sont pas vérifiées par l'expérience. »

Il se réfère à son propre maître, Robert Grosseteste (v. 1175-1253), dont il dit :

« lui, il a complètement désespéré d'Aristote, a cherché une autre voie, d'autres auteurs, et surtout a recouru à l'expérience »<sup>58</sup>.

Frère Roger porte dans le même temps un premier coup de bélier à l'enseignement scolastique, pourfendant les autorités et s'élevant contre les méthodes employées à l'Université de Paris. Partisan des abrégés qui laissent de côté les questions superflues, il raille les traités volumineux qu'il faut transporter à dos de mulet.

Les démarches préconisées, ou, au contraire, décriées dans l'enseignement des sciences ont toujours été marquées de l'empreinte des discours sur la *méthode* et sur les cheminements scientifiques, qu'elles s'en inspirent et les encensent avec lyrisme ou, *a contrario*, qu'elles s'en écartent, pour des raisons conscientes ou du fait d'idéologies dont elles ne sont que les traces lointaines.

Robardet & Guillaud (1997, p. 43-44) remarquent qu'à notre époque, les inductivistes sont bien moins nombreux dans les rangs des savants et des chercheurs que dans ceux des enseignants scientifiques. Les professions de foi en faveur de l'induction, nombreuses dans le monde savant aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, ont engendré celles qui se sont multipliées dans le monde de l'enseignement dans la première moitié du XX<sup>e</sup>, la situation actuelle en étant toujours l'héritière.

Un rapprochement à trois siècles de distance permet d'établir un premier parallèle saisissant.

1605 : en cette aube du XVII<sup>e</sup> siècle où prend naissance la science moderne, le premier auteur à préconiser une nouvelle voie pour combattre le dogmatisme scolastique, Francis Bacon de Verulam (1561-1626), Chancelier homonyme du moine franciscain, incite à l'expérimentation et milite pour une démarche scientifique *inductive*, laissant au placard Aristote et sa logique *déductive*.

1902 : une importante réforme a lieu en France dans l'enseignement, dans une période d'euphorie scientifique où les villes voient paraître éclairage et tramways électriques, « les automobiles

<sup>56</sup> Eco (1982), 4<sup>e</sup> jour, vêpres, p. 328.

<sup>57</sup> "Seule l'expérience certifie, et non l'argument". *Opus tertium* (1267), chap. XIII, in *Opera quaedam hactenus inedita*, ed. J.S. Brewer, Longman, Green, Longman & Roberts (1859), p. 43.

<sup>58</sup> *Compendium Studii Philosophiae* (1271), in Charles, E. A. (1861). *Roger Bacon, sa vie, ses ouvrages, ses doctrine*, Hachette, p. 103.

commençaient à rouler sans trop de pannes, (...) l'on télégraphiait déjà sans fil à deux cent mètres »<sup>59</sup>... On introduit alors les manipulations pour les élèves et l'on prône, là aussi, pour s'opposer à l'enseignement classique jugé dogmatique, le recours à l'expérience, et une semblable démarche *inductive*, pédagogique cette fois.

Ce rapprochement illustre comment les armes brandies par les réformateurs peuvent être piochées dans l'arsenal épistémologique. Le lien entre la "méthode" du savant et celle de l'élève, tout comme la référence à Francis Bacon, sont d'ailleurs explicites dans les discours qui accompagnent les nouveaux programmes de la Belle Époque.

Un conférencier déclare aux enseignants de Sciences Naturelles :

« Il est possible de faire suivre à l'enfant, pour l'amener à la connaissance de la vérité déjà trouvée, **la méthode que suit le savant** pour découvrir la vérité inconnue. À partir de ce moment, et sans parler de Comenius, qui n'est que son interprète, tous les grands pédagogues ont reflété plus ou moins l'inspiration baconienne. » C'est **Bacon**, clame l'orateur, « qui a réagi avec le plus d'énergie contre la méthode scolastique et a proposé pour la première fois de substituer au travail abstrait de l'esprit (...) l'étude **concrète** de la réalité »<sup>60</sup>.

Pour les enseignants de physique :

« Dans la découverte des lois, l'esprit humain procède suivant une méthode, instinctivement appliquée de tout temps, systématisée et théoriquement étudiée par **Bacon** dans le *Novum organum* : c'est la **méthode d'induction**. (...) Le professeur énonce et montre quelques faits ; il les étudie, en dégage les lois particulières, et s'élève peu à peu (...) aux principes généraux. »

L'auteur fait plaisamment remarquer que si "chat échaudé craint l'eau froide", cela prouve tout simplement qu'il n'a pas lu Bacon et que, bondissant d'une seule expérience à des conclusions étendues, "il généralise beaucoup trop vite"<sup>61</sup>, et fait ainsi erreur.

C'est que la marche de l'esprit peut vite aller trop loin, ou tout au contraire, redoublant de prudence, s'assujettir à ses propres chaînes.

De tous temps, l'esprit humain s'est interrogé sur le monde réel, a établi des liens, tenté de se forger des explications. Surpris parfois par le chemin parcouru, par le vertige ou le bénéfice qui ont accompagné ses avancées dans la brume, il a aussi réfléchi, en se retournant, sur les itinéraires empruntés.

Souvent, il a pris modèle, pour l'enseignement, sur la voie qui lui a paru féconde : ce sont ces liens que nous nous proposons de mettre ici en lumière, en éclairant d'un jour nouveau et parfois inattendu des pistes au bout desquelles nous nous tenons sans toujours le savoir.

La quête inlassablement menée pour apprendre et pour comprendre met en jeu deux formidables machines humaines : la perception et l'entendement. Mais les deux sont faillibles ! Tel Ulysse, le scientifique navigue entre les sirènes des illusions trompeuses et celles des abstractions séduisantes. Quel est le bon cap ? Quand est-on au port ? Le paradoxe de la connaissance scientifique, c'est que la fortune amassée y côtoie une relative précarité.

Récolter et analyser des faits, concevoir des suppositions et des théories : tout au long des siècles ont été discutées la part, la place et la confiance relatives à accorder à la spéculation et à l'observation. Ces réflexions, qui se sont répercutées dans les démarches pédagogiques préconisées pour l'enseignement des sciences, sont pour nous les éclats de voix qui proviennent du grand salon de l'histoire des sciences, où les expérimentateurs médiévaux répondent aux penseurs grecs et où les partisans de Newton défont le monde des spéculateurs cartésiens : ouvrons la porte, et écoutons.

---

<sup>59</sup> Vallory, J.-J. (1936). *Poussières de Physique*. Ed. Rieder, p. 198.

<sup>60</sup> Conférence de F. Pétrouche (1905), in Hulin, N. (2002), p. 287-288.

<sup>61</sup> H. Bouasse (1903), in Hulin, N. (2000), p. 223-226.

## 1.2.1. Le débat épistémologique

“Les faits, rien que les faits”, prônent certains : l’esprit est si prompt à divaguer. “Quand l’eau courbe un bâton, ma raison le redresse, La raison décide en maîtresse”, rétorque La Fontaine : nos sens sont trompeurs.

C’est à Parménide, décrivant deux chemins pour la connaissance, que l’on fait classiquement remonter l’origine du *débat épistémologique* : il recommande de s’écarter « de cette fausse voie qui s’ouvre à ta recherche », de « ce chemin où œil aveugle, sourde oreille (...) régentent tout », et conseille : « plutôt, juge avec ta raison » (fragment B7).

Platon, qui le nomme son “père” philosophique, le suivra dans cette voie, tandis qu’Aristote, fondateur de la zoologie, grand observateur et auteur de huit livres de *Planches Anatomiques* (perdus), privilégie la perception sensorielle, à tel point que Thomas d’Aquin, en le commentant, formule la conception sensualiste :

« il n’y a rien dans notre entendement qui n’y soit entré auparavant **par les sens** ».

Karl Popper (1963, p. 590 ; 1979 p. 41) attribue cette formulation à un Parménide moqueur : la plupart des mortels n’ont rien dans leur entendement *égaré* qui n’ait été perçu par leurs sens *trompeurs*. Son disciple Zénon, avec ses paradoxes par lesquels le raisonnement rend impossible le mouvement pourtant perçu, porte un coup terrible et durable à la fiabilité des sens. Aristote reconnaît<sup>62</sup> que les arguments de Zénon causent beaucoup de soucis à ceux qui veulent les résoudre, compte tenu du fait qu’un mobile doit d’abord parvenir à la moitié avant d’atteindre le terme de son trajet, et ceci, indéfiniment. Paul Valéry se lamentera en considérant “Achille immobile à grands pas” :

« Zénon ! Cruel Zénon ! Zénon d’Élée ! / M’as-tu percé de cette flèche ailée / Qui vibre, vole, et qui ne vole pas ! »<sup>63</sup>

Symbolisant les batailles à venir, Diogène déambule sous l’effigie impassible de Zénon : en marchant, il s’efforce en vain de ruiner, par l’évidence expérimentale, l’implacable raisonnement de l’Éléate.

### 1.2.1.1. À l’origine de la méthode expérimentale : Dogmatiques *versus* Empiriques

En parcourant diverses œuvres antiques et médiévales, on rencontre à différents endroits la *mise en œuvre* effective de démarches que l’on qualifierait aujourd’hui, certaines d’inductives, d’autres de déductives, d’autres d’hypothético-déductives ou encore d’expérimentales.

Toutefois, le fait de repérer ponctuellement un auteur sur une voie plutôt que sur une autre ne signifie pas qu’il s’y trouve parce qu’il l’estime plus sûre pour le conduire à destination, et qu’il en ait fait délibérément le choix. Toute autre est l’attitude de ceux qui *discourent* sur leur méthode, qui argumentent, la recommandent, l’enseignent, s’apitoient sur le sort des égarés qui se sont aventurés dans d’autres chemins.

Qu’un auteur, par exemple, relate ses expériences ne suffit pas pour dire qu’il suit une *démarche* expérimentale, et moins encore qu’il s’inscrit dans une *méthode* expérimentale. Pour reconnaître chez un expérimentateur une *démarche*, il faut qu’il nous en dise les pas successifs, telle l’idée préalable qu’il contrôle ; pour y voir une *méthode*, il faut qu’il s’en soit fait une règle de conduite.

---

<sup>62</sup>*Physique*, VI, 9, 239b9.

<sup>63</sup> *Le Cimetière Marin*, 121-26, in *Morceaux choisis : prose et poésie*, Gallimard, 1930, p. 40.

Il faut distinguer celui qui utilise un procédé, comme l'expérience ou la généralisation d'observations, sans souci méthodologique, d'un autre qui est le pionnier d'une démarche, et d'un autre encore (qui peut aussi être le même) qui s'en fait l'apôtre et attribue la palme à un type de parcours.

Ainsi, le contrôle ponctuel d'une idée par l'expérience, pour notable qu'il soit, n'a pas la même ampleur que la recommandation d'une procédure au caractère heuristique explicite, s'accompagnant d'une justification d'ordre méthodologique. C'est ce qui explique que, suivant la lecture qu'ils font d'un même auteur, des commentateurs éminents puissent aboutir à des interprétations différentes, voire opposées : par exemple, l'évolutionniste Ernst Mayr considère que la méthode hypothético-déductive « était déjà implicite dans la méthode aristotélicienne »<sup>64</sup>, tandis que pour l'historien des sciences Mirko Grmek, Aristote « condamne implicitement la méthode hypothético-déductive »<sup>65</sup>.

La médecine est, dans l'Antiquité, le domaine où prend corps avec le plus de vigueur le débat épistémologique, tout en s'accompagnant de réflexions méthodiques. Littré indique :

« Il y eut dans l'Antiquité une discussion, prolongée pendant des siècles entre les médecins, sur la **part** qu'il importait de faire à la **théorie** et à l'**expérience**. » (1872, p. 168).

Ceux-ci se signalent à la fois par les démarches qu'ils suivent *et* par leurs "discours des méthodes". Claude Galien (131-201), médecin chargé des gladiateurs avant d'être au service de Marc-Aurèle, fait le point sur ces querelles, qui opposent des "sectes" médicales avec une virulence telle qu'elle lui fera dire que la jalousie entre elles est un mal indomptable, invincible entre tous, plus incurable que la gale<sup>66</sup>. Galien est d'autant plus intéressant qu'à ses débuts il était, dit-il, à la recherche d'une méthode

« qui rende chacun capable, à propos de chaque **problème**, d'arriver lui-même à la solution, grâce à une certaine **démarche** »<sup>67</sup>.

Le débat oppose les *Empiriques* aux *Dogmatiques*, avant que ne viennent s'en mêler les *Méthodiques*. Les Dogmatiques (*dogmata* = opinion), ou rationnels, relient les symptômes à leurs *dogmes* sur les causes cachées qu'il faut connaître pour traiter la maladie : déséquilibre des humeurs pour Hippocrate ou doctrines vasculaires de l'école médicale d'Alexandrie. Celse, médecin romain du I<sup>er</sup> siècle, rapporte<sup>68</sup> :

« Ils estiment que celui qui apprécie exactement la **cause première** de la maladie a toute chance de réussir dans le traitement ».

Il fournit des exemples édifiants :

« La médication doit être différente si la maladie provient de l'excès ou du défaut d'un des quatre éléments, comme l'ont avancé quelques philosophes, ou procède directement des humeurs, comme **l'a cru** Hérophile, ou de l'air (pneuma) comme **l'a dit** Hippocrate ; si le sang extravasé dans les vaisseaux destinés à l'air suscite l'inflammation (...) comme **l'admettait** Erasistrate, ou si des corpuscules arrêtés à leur passage à travers les pores invisibles obstruent la voie, comme **le soutenait** Asclépiade. »

Ou encore :

« l'alimentation à prescrire aux malades doit être différente selon que telle ou telle **doctrine** est la vraie », et ils « soutiennent, **les uns**, suivant l'avis d'Erasistrate, que les aliments se digèrent dans l'estomac par trituration ;

---

<sup>64</sup> *Histoire de la biologie* (1982), le Livre de Poche, 1995, tome I p. 54.

<sup>65</sup> *Le chaudron de Médée* (1997), Institut Synthélabo, p. 63.

<sup>66</sup> *Des facultés naturelles*, I, 13, in *Œuvres médicales choisies*, Gallimard, 1994, p. 23.

<sup>67</sup> *De libris propriis*, cité in Moraux, P. (1985), *Galien de Pergame, Souvenirs d'un médecin*, Les Belles Lettres, p. 116.

<sup>68</sup> Celse. *Traité de médecine*, Livre I, préface, Masson, 1876.

**les autres**, (...) par putréfaction ; **d'autres**, conformément au sentiment d'Hippocrate, par l'action de la chaleur ; puis viennent les sectateurs d'Asclépiade, qui déclarent toutes ces **hypothèses** vaines et futiles : **suivant eux**, il n'y a pas de digestion, mais la matière se distribue dans tout le corps à l'état de crudité, telle qu'on l'a prise. »

Les Dogmatiques ne récusent pas l'utilité des expériences, qui fournissent des indications, mais elles ne sauraient renverser la théorie, chacun tenant la sienne pour irréfutable, car il leur importe surtout « de ne pas être infidèles à leur système chéri », comme dit Galien des partisans d'Asclépiade, médecin et ami de Cicéron.

Réagissant à ces désaccords, un membre dissident de l'école d'Alexandrie (Philinos de Cos) fonde la secte qui prend le nom d'*Empirique*. Ses adeptes rejettent les systèmes et la recherche des causes obscures des maladies, niant, en positivistes anticipés, qu'elles soient accessibles. Ils veulent s'en tenir aux données de l'expérience sans les étendre par la spéculation, porte ouverte à l'erreur : on n'a pas à s'inquiéter de l'origine de la maladie, mais de ce qui la guérit. « Ils disent que les **conjectures** [*conjecturas*] sur les causes **occultes** sont **sans portée** », résume Celse, un état d'esprit très proche de celui qui, bien plus tard, sera celui de Newton, affirmant ne pas vouloir spéculer sur les causes de l'attraction lorsqu'on l'accusera de recourir à une force occulte. Le parallélisme se marque jusque dans les termes : pour les Empiriques, la médecine à son origine a été « déduite des expériences », *deductam ab experimentis*<sup>69</sup> ; *deducuntur ab experimentis* écrit Newton à la *Royal Society* lorsqu'il veut caractériser la bonne méthode<sup>70</sup>. Déduire étant utilisé dans son sens premier d'extraire ce qui *s'ensuit nécessairement*.

Vint ensuite s'ajouter la secte *méthodique*, bien mal nommée, qui, refusant à la fois les spéculations et les expériences, attira contre elle les foudres des deux précédentes. Pour cette école, qui fut en vogue dans la Rome des débuts de l'Empire, tout état pathologique vient d'un resserrement, d'un relâchement ou d'un état mixte, et tout est considéré à travers ce prisme. Les Méthodiques ont été considérés la plupart du temps « au mieux comme des plaisantins, au pire comme des fous »<sup>71</sup>.

### **Le remarquable trépied de l'empirisme.**

Ces querelles antiques opposent donc les tenants de l'expérience à ceux qui mettent en avant les raisonnements, qui s'unissent pour contrer ceux qui prétendent procéder avec méthode. Les empiriques cependant ne se montrent pas antirationalistes mais critiquent les excès de la raison, et les trois procédures qui forment le « **trépied de l'empirisme** » sur lequel repose leur art méritent d'être considérées : *autopsia*, *historia*, *epilogismos*.

- *Autopsia*, étymologiquement, l'observation personnelle, doit faire retenir ce que l'on a vu aller avec quelque chose, précéder ou suivre quelque chose en beaucoup d'occasions différentes. Le procédé est donc l'**induction**, « que l'on pourrait dire “baconienne” » estime Pellegrin<sup>72</sup>.

- *Historia*, le recours aux observations recueillies par les devanciers, ne se fait pas sans méfiance :

« du fait que certains accordent créance à une expérience sans détermination, que d'autres n'ont pas vu de multiples fois ce qu'ils consignent par écrit, que d'autres ont suivi des **conjectures** rationnelles, pour cela il nous est nécessaire non pas de croire simplement tout **ce qui a été écrit** par nos prédécesseurs, mais il faut **l'éprouver avant de s'en servir**. Et c'est là l'un des aspects qui appartiennent à l'**expérience** »<sup>73</sup>.

- *Epilogismos*, l'"épilogisme" empirique, ou « passage au semblable », est ce qui permet de passer d'un cas inconnu, tel une affection jusqu'alors ignorée, à un cas connu apparemment similaire, mais

<sup>69</sup> Celse, *De la médecine*, livre I.

<sup>70</sup> *Philosophical Transactions of the Royal Society*, No. 85 (15 July 1672), p. 5004-5007.

<sup>71</sup> Pellegrin, P. (1998). *Galien. Traités philosophiques et logiques*, Flammarion, p. 48.

<sup>72</sup> *Id.*, *La Méthode thérapeutique*, citation et commentaire de Pierre Pellegrin, p. 40.

<sup>73</sup> *Id.*, *Esquisse empirique*, p. 109-110.

alors que les Dogmatiques se permettent de conclure d'un tel analogisme, cela ne suffit pas aux Empiriques, plus circonspects, qui contrôlent l'analogie pour aboutir à une conclusion (épilogue).

Ce passage au semblable doit être *vérifié par l'expérience* pour que le raisonnement soit mené à son terme :

« Le passage au semblable n'est pas un vrai critère mais un critère de **ce qui est possible** (...) qui est en lui-même **une voie vers l'expérience** (...) Nous ne faisons pas confiance au passage aux semblables **avant que l'expérience** pratique <ne le donne> comme vrai. »<sup>74</sup>

L'une des remarques de Senebier, en 1802, résume parfaitement l'épilogisme des Empiriques, même s'il ne s'y réfère pas :

« L'analogie conduit à l'expérience en laissant conclure **de ce qui est à ce qui peut être dans d'autres cas** ; l'expérience prononce sur la solidité de la conclusion. » (1802, t. III, p. 286).

Le trépied de l'empirisme médical antique représente déjà un arsenal méthodologique appréciable. L'un des “pieds” est inductif, offrant la garantie de ce qu'on a vu de ses propres yeux, mais les deux autres accueillent avec doute ce qu'ont prétendu les autres tout comme ce qui semble analogue : pour ces deux pieds-là, ils s'agit d'idées indicatrices, d'“espoirs” qu'il faut *soumettre à l'expérience* pour qu'on puisse se reposer dessus.

Un traité de Galien revêt une importance majeure pour nous puisque, destiné à la formation des débutants<sup>75</sup>, premier livre qu'un étudiant en médecine doit lire selon l'illustre médecin, il a non seulement une portée générale mais aussi éducative. Galien n'est pas un Empirique mais il présente, en quelque sorte, ce qui se fait et se dit à l'époque.

Il décrit le passage au semblable des Empiriques :

« tout passage de cette sorte est une voie **vers la découverte**, mais il n'y a pas encore découverte avant l'expérience, mais, quand **ce qu'on espérait** a été amené à l'expérience, ce que celle-ci **a attesté** n'est désormais pas moins digne de crédit que si cela avait été observé à de multiples reprises et de la même manière. » (p. 67).

Ce qui indique, chez les Empiriques, la découverte aussi bien possible par la voie des observations répétées que par celle des “espoirs” provenant d'une analogie, sanctionnés par l'expérience : l'espoir est semblable à l'hypothèse, que l'expérience “atteste”.

Charles Daremberg, qui consacre sa thèse à Galien, analyse ainsi son traité majeur :

« **les hypothèses y abondent** (...). Tout ce que Galien peut **contrôler** par la physiologie expérimentale ou par l'observation directe des organes, est le plus souvent juste ; le reste est frappé de **stérilité par la théorie** des éléments, des humeurs et des facultés. » (1841, p. 230).

Galien est donc sur une meilleure route lorsqu'il procède par hypothèses contrôlées que lorsqu'il s'en tient à ses idées préconçues. Il montre avec humour les insuffisances des approches basées soit sur la seule raison, soit sur la seule expérience en prenant son propre exemple quand, jeune médecin, il eut à s'occuper d'un individu qui avait perdu la mémoire<sup>76</sup>. L'affection étant rare à l'époque, il n'avait vu aucun maître la soigner, ni rien lu dessus. Première difficulté de l'époque... trouver le lieu affecté ! La mémoire siège-t-elle dans le cœur ou le cerveau ? Apprenant qu'Archigène, médecin pneumatique (variété de Dogmatique) a écrit un livre sur le sujet, il se rue dans les bibliothèques et les librairies, pour connaître le remède convenable, sachant que pour cette

<sup>74</sup> *Id.*, *Esquisse empirique*, p. 113-114.

<sup>75</sup> *Id.*, *Des sectes pour les débutants*, p. 63.

<sup>76</sup> *Des lieux affectés*, III, 5, in *Œuvres médicales choisies*, Gallimard, 1994, p.193-197.

secte, *le cœur* est le lieu affecté. Quelle n'est pas alors sa surprise de lire que le traitement recommandé est une ventouse sur *la tête* !

« Je voyais tomber l'espoir que j'avais mis dans un homme qui, mille fois, dans ses nombreux ouvrages, avait proclamé nécessaire la science des lieux affectés ».

C'est-à-dire la nécessité de soigner à l'endroit où se situe l'affection, et non à distance. Cet Archigène indique dans son livre un remède contraire à ses propres théories, et Galien relève la contradiction : « Quel raisonnement plausible, ô Archigène, peut nous persuader de porter nos efforts vers la tête en négligeant le cœur », qui devrait être l'organe à soigner ? Mais Galien ne peut croire non plus que la découverte du remède approprié ait pu se faire seulement par l'expérience, et il se tourne vers les Empiriques, qui, par *autopsie*, s'appuient sur des observations fortuites accumulées :

« une ventouse n'a jamais pu s'appliquer spontanément sur la tête par une circonstance fortuite ».

Galien, déclare qu'il s'appuie, lui, sur "les deux jambes" de l'art médical :

« Convaincus que dans tout art l'**expérience** a un grand pouvoir, **ainsi que les connaissances spéculatives** trouvées par le moyen de la méthode logique, (...) telle la contribution de chacune des **deux jambes** pour la marche, tel est, dans la médecine, le rôle de l'**expérience** (*empeiria*) et du **raisonnement** (*logos*) »<sup>77</sup>.

Analysant la supposition d'Asclépiade, selon laquelle l'urine parvient sous forme de vapeurs à la vessie, vue comme une "éponge", et non par les uretères, il en discute d'abord la recevabilité théorique avant de la réfuter par l'expérience (il ligature un uretère, et celui sur lequel il n'intervient pas pour pouvoir comparer peut être qualifié de témoin) :

« si quelqu'un veut faire par lui-même ces **expériences** sur l'animal, il condamnera sévèrement, j'en ai l'assurance, la témérité d'Asclépiade. (...) il extravague, quand il veut que nous n'ajoutions pas foi à **nos sens** dans un cas où le fait donne un **démenti** net à **ses hypothèses**. »<sup>78</sup>

S'il a cependant péché par excès de dogmatisme, Galien a pris appui sur des concepts méthodologiques importants : Grmek (1997a, p. 141) dit qu'il dépasse de loin tous les autres auteurs de l'Antiquité, qu'avec lui on se hisse au sommet de l'heuristique antique, aussi bien en théorie qu'en pratique (p. 109) et le voit à *l'origine de la méthode expérimentale*. Brochard (1887) et Egger (1890) la font remonter avant lui à Ménodote l'Empirique, qui vécut probablement vers 150, auteur que Galien cite abondamment. Galien écrit en effet que Ménodote

« a **réfuté** victorieusement **les hypothèses** d'Asclépiade, en signalant ses contradictions avec les faits apparents et avec ses propres opinions. »<sup>79</sup>

Les Empiriques utilisent donc une méthode inductive (le pied "*autopsia*" de leur trépied) et une approche qui a tous les traits d'une méthode hypothético-déductive (les deux autres pieds, *historia* et *epilogismos*).

Galien procède, selon Grmek, à une « **expérimentation hypothético-déductive** qualitative » :

« On est là au sommet des réalisations antiques dans ce domaine. Cette **ébauche de la méthode expérimentale**, dont le principal protagoniste antique est Galien, aurait vraiment mérité ce nom si l'on avait réussi à passer de tentatives isolées à une méthode constituée. » (1997a, p.22).

---

<sup>77</sup> *De compositione secundum locos*, 8.6, cité in Jacques, J.-M., « La méthode de Galien pharmacologue dans les deux traités sur les médicaments composés », in Debru, A. (1995), *Galen on pharmacology*, Brill, p. 117.

<sup>78</sup> *Des facultés naturelles*, I, 14, in *Œuvres médicales choisies*, Gallimard, 1994, p. 22-28.

<sup>79</sup> *Des facultés naturelles*, I, 14, in *Œuvres médicales choisies*, Gallimard, 1994, p. 33.

Grmek estime que Galien voit les Empiriques avancer à cloche-pied (1997a, p. 109). Lui tient sur ses deux jambes, même si celle de la déduction, plus développée, l'égare souvent.

Et Galien termine son *Esquisse empirique* en précisant qu'il a écrit ce livre « pour montrer comment il est **possible** (...) de constituer un art médical de manière empirique » (p. 125) : pour Pellegrin (1998, p. 41) il y a donc selon Galien une médecine empirique qui est valide, même si elle est moins complète et moins belle que la médecine rationnelle. Galien estime que l'Empirique peut aboutir, mais, commente Pellegrin,

« il n'apercevra pas la concaténation rationnelle qui fait du résultat un conséquent dans une relation causale. La **méthode rationnelle** se manifeste donc comme un chemin plus rapide et intellectuellement plus satisfaisant vers un résultat que la **méthode empirique** peut par ailleurs atteindre. »

Si l'induction empirique a pu être *a posteriori* qualifiée de baconienne, nous pouvons avancer en parallèle que la méthode rationnelle de Galien, qu'il juge plus sûre, présente bien des caractéristiques de ce qui sera l'approche cartésienne : Descartes ne rejetait pas non plus l'approche de Bacon, mais la jugeait inférieure. Et de même que chez Bacon se trouve une instance de la croix qui préfigure une troisième voie, y a-t-il chez les Empiriques antiques, avec l'épilogisme par lequel l'expérience vérifie le passage au semblable, au moins une bonne prothèse à la claudication que Galien croit percevoir.

Daremberg qualifie l'usage que Galien fait quelquefois du raisonnement en des termes qui s'appliqueraient tout autant à Descartes :

« [il] ne voit plus qu'avec son esprit, et ne s'aperçoit pas qu'il mérite le reproche qu'il fait aux autres, de mettre leur raison naturelle à la place de la réalité, et d'inventer l'anatomie. » (1841, p. 9).

Semblablement, Huygens dit de Descartes qu'il « donnait ses conjectures pour des vérités »<sup>80</sup>, et Claude Bernard qu'il « exposa une physiologie de fantaisie et à peu près imaginaire »<sup>81</sup>. Et si Galien passa pour être infaillible pendant 14 siècles, au point qu'on en arrivait à soutenir que la nature avait changé depuis lui, le système de Descartes, moins durablement il est vrai, parut un temps posséder la même vertu indestructible.

On peut voir dans ces cheminements explorateurs antiques une répétition générale de la situation qui caractérisera le XVII<sup>e</sup> siècle, en restant conscient des réserves nécessaires qu'impose un tel rapprochement par-delà les siècles. Ménodote et les Empiriques utilisent principalement la voie de l'induction mais aussi le contrôle expérimental d'idées incertaines, et tel sera le cas de Bacon ; Galien utilise la voie déductive, et prétend s'appuyer également sur l'expérience, comme le fera Descartes ; comme lui, il s'égare dans cette voie et comme Descartes parlant de Bacon, Galien parlant de Ménodote et des Empiriques reconnaît la valeur de leur procédure, cependant moindre selon lui.

Les Empiriques grecs, par leurs réflexions sur le sens des expériences, auront cependant un impact non négligeable, puisqu'on retrouve leur influence aussi bien dans les écrits du pédagogue baconien Comenius –qui utilise le terme *autopsie* dans le même sens– que du physicien cartésien Rohault (1671, voir partie 1.2.4.2.).

---

<sup>80</sup> Huygens, C. (1693). *Sur la vie de M. Des Cartes par Baillet*, in *Œuvres complètes*. Soc. Holl. S<sup>ces</sup> (1888), p. 403.

<sup>81</sup> *Leçons de pathologie expérimentale*, 1872, p. 481.

### 1.2.1.2. Avancées médiévales

Pour M. Grmek (1997a, p. 22), le premier auteur qui propose clairement la méthode hypothético-déductive n'est pas Aristote mais l'un de ses commentateurs d'Alexandrie, Jean Philopon (env. 490-570). Il réfute, justement, les thèses centrales de la physique d'Aristote, les accusant à la fois d'être incohérentes entre elles et de ne pas correspondre à l'expérience, notamment concernant le temps de chute de corps de poids différents. Cette mise en cause par le raisonnement comme au moyen de l'expérience est nommée par Lloyd (1974, p. 359) "une opiniâtre offensive en forme de tenaille" :

« cela est complètement faux, dit Philopon, et on peut l'établir **par l'observation** de ce qui se passe en fait, plus solidement que par n'importe quelle espèce de **démonstration** argumentée. »

Vers l'an 1000, le physicien arabe Alhazen (Ibn al-Haytham, 965-1032) utilise une semblable tenaille pour réfuter les idées antiques en optique, sur la vision et l'arc-en-ciel. Reprenant les expériences de Ptolémée sur la réfraction, Alhazen institue notamment des expériences pour trancher entre la théorie classique du rayon visuel émis par les yeux, celle du regard "lancé" qui eut cours pendant deux mille ans, et l'idée moins commune d'une lumière qui frappe l'œil. Descartes reprendra son image du rebond d'une balle pour la réflexion.

À partir du XI<sup>e</sup> siècle, des traités arabes de ce niveau sont traduits, tel le *Canon de la médecine* d'Avicenne (980-1037), le "prince des savants", contemporain d'Alhazen et traducteur d'Hippocrate et de Galien, qui transmet et commente les hautes considérations méthodologiques de ce dernier.

Certains de ces traités vont se retrouver dans des mains telles que celles de Robert Grosseteste et de Roger Bacon, les investigateurs franciscains du XIII<sup>e</sup> siècle. Frère Robert y déniche l'"expérience magnifique" de la lumière solaire traversant des bocaux remplis d'eau, et notre moine, après s'être extasié d'avoir pu mettre le feu avec un urinoir, découvre que la réfraction, dont il donne une loi approchée, est la cause de l'arc-en-ciel. Frère Roger, son disciple, joue aussi avec le feu, puisque, comme le rappelle l'épistémologue Thomas Kuhn (1975), il proclame que si la théorie permet d'établir la capacité de la flamme à brûler la chair, l'esprit étant sujet à l'erreur il est encore plus concluant de poser carrément sa main dans l'âtre.

Si Roger Bacon prône ce qu'il nomme la *scientia experimentalis*, c'est Robert Grosseteste qui déclare son intention d'établir des "principes expérimentaux universels" (*principia universalis experimentalia*) (Marenbon, 1998, p. 212) : pour lui, "une méthode scientifique est nécessaire" dans les sciences de la nature, même pour du *probable* puisqu'on ne peut y parvenir à une connaissance absolument certaine comme en mathématiques. Il annonce :

« Voici donc la façon dont on atteint l'**universel** abstrait à partir de faits singuliers (...). Lorsque les sens **observent à plusieurs reprises** deux événements singuliers (...) – comme, par exemple, lorsqu'on remarque que l'ingestion de scammonée [plante proche du liseron] s'accompagne d'une évacuation de bile rouge (...) – alors, de l'**observation** constante de ces deux faits observables, on commence à **supposer** un troisième fait inobservable, à savoir que la scammonée est la cause qui évacue la bile rouge. (...) La **raison active** commence donc à se demander et à considérer si les faits sont réellement conformes à ce que prétend le **souvenir sensible**, et ces deux opérations suggèrent à la raison cette **expérience** : administrer de la scammonée après que toutes les autres causes d'expulsion de la bile rouge aient été isolées et **exclus**. » (Crombie, 1952, p. 227-228).

Il propose donc un modèle *observation – induction – supposition – épreuve expérimentale en conditions contrôlées – conclusion à valeur générale mais non absolue*, qui, donné à titre de principe universel d'expérimentation, a quelque allure. D'autant qu'il considère le fait que, l'induction ne menant pas à un principe certain, il y a un "bond" à franchir pour atteindre une assertion explicative causale, et que plusieurs causes possibles peuvent rendre compte d'un même effet : il faut alors distinguer entre les théories vraies et les fausses, en rejetant ces dernières par un processus de "falsification". Cela s'opère en déduisant, à partir des théories, des conséquences non

incluses dans les données initiales, et en éliminant d'une part celles qui contredisent une théorie établie, d'autre part celles qui échouent à l'épreuve de l'expérimentation. Cette procédure, mise en évidence par les travaux de Crombie (1953) sur Grosseteste, « contenait les éléments essentiels de toute science expérimentale », estime C. Ronan (1983, p. 354). Koyré (1966, p. 61-86), tout en reconnaissant les mérites du « héros de l'histoire contée par M. Crombie », le voit inscrit dans un ensemble antique et médiévale, la révolution à venir n'étant que pour le XVII<sup>e</sup> siècle.

C'est que Robert Grosseteste et Roger Bacon eux-mêmes ignorèrent fréquemment leurs propres conseils, et ne parvinrent à aucune découverte d'envergure. Koyré ironise sur la « cause » des cornes de Grosseteste, cause finale bien peu scientifique : ont des cornes les animaux qui n'ont pas de dents du haut pour se défendre correctement, le déficit dentaire étant compensé par ces attributs frontaux. Mais alors ils mastiquent moins bien, aussi sont-ils affublés de plusieurs estomacs : telle en est la « cause ». Ce bel ordonnancement est contesté par une tête de chameau, n'ayant ni ces dents ni ces cornes. Mais ce mal loti en apparence ne saurait réfuter la conclusion : il doit avoir quelque autre moyen pour préserver sa vie, et, de ce fait, n'a rien reçu de superflu.

Voltaire résuma ainsi la situation de Roger Bacon dans son temps :

« Roger savait un peu de géométrie et d'optique, (...) ce qui est dans l'Arabe Alhazen. Transportez ce Bacon au temps où nous vivons ; il serait sans doute un très grand homme. C'était de l'or encroûté de toutes les ordures du temps où il vivait »<sup>82</sup>.

La méthodologie scientifique mettra encore quatre siècles à s'en extraire avec éclat.

### 1.2.1.3. Rénovateurs du XVII<sup>e</sup> siècle

Le débat épistémologique resurgit en effet et prend toute son ampleur au début du XVII<sup>e</sup> siècle, où deux philosophes, désireux de désigner à quel socle ferme et solide arrimer la connaissance, dressent leur stature de législateurs des procédures scientifiques : Francis Bacon de Verulam et René Descartes.

Avant eux, juste en l'an 1600, le médecin et physicien William Gilbert, fondateur de la science expérimentale selon Galilée<sup>83</sup>, dit déjà proposer « un nouveau style de philosopher » dans ce qui constitue le premier traité scientifique moderne. La préface à cet ouvrage sur le magnétisme (*De Magnete*) peut être en même temps considérée comme un préambule à ce siècle fructueux. Il ne se contente pas de présenter des faits plus ou moins assurés ou un commentaire érudit d'Aristote, mais réfute les théories et les croyances antérieures par une investigation expérimentale rigoureuse. On pensait que la boussole pointait vers l'étoile polaire, ou alors, vers quelque montagne magnétique au pôle nord : Gilbert modélise la Terre à l'aide d'un aimant rendu sphérique qu'il nomme Terrella ou Microgée, et parvient à la conclusion que la Terre elle-même est un énorme aimant. Il distingue cette forme d'attraction d'une autre, qu'il qualifie d'un autre nom, qui nous est resté : *electricus*. Il déclare s'adresser à ceux « qui cherchent la connaissance non seulement dans les livres, mais dans les choses elles-mêmes », et se détourne des écrits de tous les « clowns lettrés ».

« Nous n'avons pas hésité à mettre en avant, au moyen d'**hypothèses** qui sont **testables**, les choses que nous avons découvertes par une longue expérience. » (1600, p. li).

Si des appels au rejet de la simple spéculation des anciens, ainsi qu'à un regard scrutateur sur la nature plutôt que sur de vagues expériences, s'étaient déjà fait entendre avant 1600, c'est la

---

<sup>82</sup> *Dictionnaire philosophique* : Roger Bacon.

<sup>83</sup> Nicolas Witkowski, « William Gilbert, philosophe magnétique », *La Recherche* n° 341, avril 2001 p. 54.

première fois qu'ils s'accompagnent d'un programme scientifique rigoureux et fructueux. Le livre a une audience considérable en Europe.

Mais Francis Bacon (1605 ; 1620 *Novum Organum*), puis René Descartes (1637 *Discours de la méthode* ; 1641 ; 1644) vont édifier des œuvres méthodologiques plus fournies et fondatrices, dont les échos résonneront dans les siècles ultérieurs.

Tous deux, influencés par le scepticisme de Montaigne, s'accordent sur le fait que le recueil par les sens, comme le travail de l'esprit, peuvent tromper. Une approche sûre doit être mise en œuvre. Leur point de départ est le même : une nécessaire purification de l'esprit, "miroir déformant" pour Bacon, encombré de "notions fausses fixées profondément", errances importées ou innées qu'il nomme "idoles" (1605, p. 175 et 1620, I, 38 et 41) ; tandis que Descartes narre qu'il entreprend à vingt-trois ans (donc en 1619) de procéder "en déracinant de mon esprit toutes les mauvaises opinions que j'y avais reçues" (1637, p. 54).

En 1605, Bacon précise l'origine des "maladies du savoir", s'en prenant notamment aux scolastiques :

« hommes de l'École, (...) enfermés dans les cellules d'un petit nombre d'auteurs (principalement Aristote, leur Dictateur) (...) : à partir d'une faible quantité de matière, mais avec une **agitation infinie de l'esprit**, ils nous ont tissé ces laborieuses **toiles du savoir** (...), admirables pour la délicatesse du fil et du travail, mais sans substance et sans profit (...), subtilité finasseuse et sans fruit » (1605, p. 34-35).

Les livres sont discrédités, au profit de l'expérience :

« pleins de matériaux fabuleux dont une grande partie **n'a pas été soumise à une épreuve** quelconque, pire encore qui est notoirement fausse, au plus grand dam de la réputation de la philosophie naturelle auprès des esprits sérieux et rigoureux. » (p. 38).

« Les hommes ont bien trop délaissé **l'étude de la nature** et les remarques qui se font dans **l'expérience**, pour faire **des acrobaties** d'un bout à l'autre de leur **raison** et sur leurs idées propres. » (p. 43).

"L'esprit brûle", après un coup d'œil rapide et quelques constats communs, et « **s'élançait d'un coup d'aile** vers les axiomes les plus généraux » (1620, I, 19 à 22), d'où il redescend par déduction.

Bacon juge qu'il doit reprendre entièrement le travail de l'esprit :

« La **restauration** doit se faire à partir des **premiers fondements** » (1620, I, 31).

Descartes renchérit :

« il me fallait (...) commencer tout de nouveau **dès les fondements**, si je voulais établir quelque chose de ferme et de constant dans les sciences » (1641, p. 57).

Ce dernier dit avoir trouvé "les fondements de la science admirable" après les étranges songes d'une nuit d'automne, ce qui nous est relaté par son biographe qui assure que pourtant, « il y avoit trois mois entiers qu'il n'avoit bû de vin »<sup>84</sup>...

Tous deux récusent donc le savoir antérieur mal constitué. Mais quelle voie fiable emprunter ?

Bacon veut qu'un investigateur mis en garde contre ses propres préjugés, et s'abstenant de systématisations précoces, procède à une extraction graduelle et prudente à partir d'une base solide, consistante, ordonnée, réglée sur des expériences convenables et appropriées (1620, I, 50) qui

---

<sup>84</sup> Baillet, A. (1691). *La vie de M. Descartes*, II, 1.

puissent devenir des *instances*, c'est-à-dire fournir de quoi *juger* de la nature des choses. À la figure du philosophe léger en escarpins babillant son système et ses *anticipations de la nature* précipitées, il oppose celle d'un forgeron consciencieux, circonspect, qui parvient par degrés à une correcte *interprétation de la nature* :

« mieux vaut disséquer la nature que l'abstraire » (1620, I, 51).

Où réside l'authenticité des choses, se demande Bacon ? Assurément, *dans les choses elles-mêmes*, et il veut leur demander le chemin de leur propre vérité, comme les navigateurs laissent les forces de la nature orienter l'aiguille de leur boussole. Il faut, pour lui, laisser s'exprimer les choses étudiées, les pousser, par des expériences variées, à en dire davantage, "adhérer à la moelle des choses" (1620, p. 78) et recueillir leur "témoignage" avec un esprit le plus désencombré possible d'idées préconçues.

Descartes, de son côté, part d'un doute radical qui renverse tout ce qui précède :

« je pensai qu'il fallait (...) que je rejetasse, comme absolument faux, tout ce en quoi je pourrais imaginer le moindre doute, afin de voir s'il ne restait point, après cela, quelque chose en ma créance, qui fût entièrement indubitable » (1637, p. 65).

Où est la seule certitude, s'interroge-t-il, de quoi ne puis-je absolument pas douter ? *De l'existence de mon propre esprit pensant*, et là est le seul ancrage fiable, où s'arriment quelques idées claires et distinctes admises pour leur évidence. À partir d'elles, l'entendement peut s'élancer sans crainte, en n'admettant que des certitudes enchaînées par les maillons d'acier du raisonnement.

Bacon pense que la purification de l'esprit a ses limites, puisque certaines idoles "se laissent difficilement déraciner" et que d'autres "sont totalement indéracinables", mais au moins peut-on en circonscrire les effets en les démasquant, et ainsi aménager l'entendement humain au mieux pour le préparer à recevoir les informations provenant de l'expérience. La porte d'entrée de la connaissance est donc double : un travail préliminaire pour rendre l'esprit conscient de ses possibles dérives, et pouvant alors accueillir au mieux les données de l'expérience, elle-même rendues plus fiables.

Descartes, lui, ne se contente pas de désencombrer l'esprit, laissant subsister ce qu'il ne peut balayer : il pense pouvoir le purifier absolument, en ne conservant comme fiable qu'un reliquat certes infime de raison, mais de raison pure, d'où renaîtra la connaissance, indubitable.

L'un assainit l'entendement puis travaille à une précautionneuse récolte des faits, pour s'élever par **induction**, avec toutes les garanties possibles, vers les idées ; l'autre place sa confiance dans l'esprit lui-même, d'où descendre par **déduction**, avec une évidence mathématique, jusqu'aux explications des phénomènes.

Leurs entreprises sont si universelles et si singulières qu'elles marqueront durablement leurs successeurs. Jean-Jacques Rousseau, s'exprimant dans son *Discours sur le rétablissement des sciences* (1750) sur l'origine des connaissances humaines, les nomme "précepteurs du genre humain" : il estime que Bacon et Descartes nous ont tous élevés, et qu'eux-mêmes n'ont pu avoir de maîtres :

« quels guides les eussent conduits jusqu'où leur vaste génie les a portés ? »

Il donne cette image élégante du débat épistémologique, où l'on reconnaît et Bacon, et Descartes :

« soit qu'on **feuillette les annales** du monde, soit qu'on **supplée à des chroniques incertaines** par des recherches philosophiques ».

Karl Popper dit d'eux :

« Bacon et Descartes (...) nous ont appris qu'il n'y avait jamais lieu d'invoquer d'autorité en matière de vérité », ils ont été « la principale source d'une révolution intellectuelle et morale sans précédent. Elle a encouragé les hommes à penser par eux-mêmes. (...) C'est elle qui a rendu possible la science moderne » (1963, p. 21-25).

Et Jules Ferry s'exclamera en 1880, en rapprochant de son époque les deux hommes :

« Il y a deux cents ans, les plus grand esprits du monde, Descartes, Bacon, ont sécularisé le savoir humain »<sup>85</sup>.

Francis Bacon, s'il ne fit pas lui-même de grandes découvertes, influença nombre de philosophes et de scientifiques. « Homme divinement ingénieux » pour Leibniz (1668)<sup>86</sup>, c'était au XVIIIe siècle un modèle pour le « fameux Boerhaave » comme l'appelle Voltaire, médecin si célèbre qu'il suffisait d'écrire sur une lettre *Boerhaave, Europe* pour qu'elle lui parvienne. Pour Voltaire justement, le *Novum Organum*,

« c'est l'échafaud avec lequel on a bâti la nouvelle philosophie ». « Personne avant le chancelier Bacon n'avait connu la philosophie expérimentale (...). Peu de temps après, la physique expérimentale commença tout d'un coup à être cultivée à la fois dans presque toutes les parties de l'Europe. » (1734, XII).

Pour Condorcet,

« Bacon a révélé la véritable méthode pour étudier la nature » (1793, 8<sup>e</sup> époque),

et Kant, qui parle de « l'essai magistral de l'ingénieux Bacon » (1787, p. 17), affirme :

« Le premier et le plus grand physicien des temps modernes fut Bacon de Verulam. Il suivit dans ses recherches la voie de l'expérience, et fixa l'attention des savants sur **l'importance et la nécessité des observations et de l'expérimentation** pour découvrir la vérité. » (1800, p. 38).

C'est, pour Cuvier,

« Le premier homme qui culbuta le vieil échafaudage des sciences et posa de nouvelles règles pour leur étude » (1841, p. 273).

Darwin, dans son *Autobiographie* (1876, p 99), prétendra « avoir travaillé selon les véritables principes baconiens ». Pour Buffon, il est l'un des cinq plus grands génies que le monde ait connus<sup>87</sup>, « grand génie » aussi pour Claude Bernard (1865, p. 86).

En plein XXe siècle, le prix Nobel Peter Medawar raconte comment il put s'en sortir à une conférence où l'orateur précédent avait embarqué ses notes, parce qu'il connaissait pas cœur de longs passages de Bacon...<sup>88</sup>

Quant à Descartes, il avait, dit d'Alembert (1751),

« tout ce qu'il fallait pour changer la face de la Philosophie ; une imagination forte, un esprit très conséquent, **des connaissances puisées dans lui-même** plus que dans les Livres, beaucoup de courage pour **combattre les préjugés** les plus généralement reçus, et aucune espèce de dépendance qui le forçât à les ménager. »

Descartes apporte le mépris de l'autorité et une nouvelle forme de rigueur intellectuelle avec l'usage du doute et de l'esprit rationnel « cartésien », qui faisait se plaindre malicieusement Fontenelle :

<sup>85</sup> Discours du 23 décembre 1880, in *Discours et opinions de Jules Ferry*, A. Colin, 1896, t. 4, p. 124.

<sup>86</sup> *Confessio naturae contra atheistas*, premiers mots (« Divini ingenii Vir Franciscus Baconus de Verulamio »).

<sup>87</sup> Hoefer, J. C. F. (1861). *Nouvelle biographie générale*, Firmin Didot frères, t. 35, p. 190.

<sup>88</sup> *Memoir of a Thinking Radish (Mémoires d'un radis pensant)*, Oxford Univ. Press, 1986, p. 191.

« Avant Descartes, on raisonnait plus commodément ; les siècles passés sont bien heureux de ne pas avoir eu cet homme-là ».

Mais depuis, on peut même contester sa philosophie, « selon les propres règles qu'il nous a apprises » (1688, p. 358).

Les sciences sont donc appelées à s'engager sur des voies nouvelles, celle de Bacon et de sa prudente induction, ou celle de Descartes recommandant la sûre déduction. Tous deux reprennent la métaphore du chemin, puisée chez Sénèque, qui renvoie à l'étymologie de *méthode* :

« un boiteux qui marche sur la voie devance un bon coureur qui s'écarte d'elle » (Bacon, 1620, I, 61) ;

« ceux qui ne marchent que fort lentement, peuvent avancer beaucoup davantage, s'ils suivent toujours le droit chemin, que ne font ceux qui courent, et qui s'en éloignent » (Descartes, 1637, p. 30).

Claude Bernard reprendra la même image, en citant Bacon, lorsqu'il parlera de la « bonne méthode » (*Principes*, p. 77).

L'enseignement des sciences et les recommandations qui l'accompagnent ayant partie liée avec ces voies, une mise au point sur les termes paraît utile, non seulement parce qu'on demande fréquemment aux élèves ce qu'ils *déduisent*, en souhaitant que rien ne les *induisse* en erreur, mais aussi pour discerner, dans ce qu'on nomme la démarche *hypothético-déductive*, devenue démarche scientifique par excellence, la place de l'*hypothèse* comme celle de la *déduction*.

## 1.2.2. Raisonnements en sciences : voies diverses

Une induction ou une déduction est un moyen de *mener* [duc-] un raisonnement, ou inférence, opération de l'esprit qui consiste à dériver une conclusion à partir de prémisses. La logique se prononce sur la **validité** de telles dérivations, de première utilité dans les sciences.

Aristote (384-322), qui attribue à Socrate à la fois la pratique de la déduction et la découverte du discours inductif<sup>89</sup>, théorise la logique, probablement pour contrer les raisonnements fallacieux des Sophistes. Les traités logiques ont été regroupés ultérieurement sous le nom d'*Organon*, instrument (de la science).

La prémisses, dit Aristote, est «le discours qui affirme ou qui nie quelque chose de quelque chose»<sup>90</sup>. Il considère et définit deux modes d'inférence<sup>91</sup> :

« Il convient de déterminer combien il existe d'espèces de raisonnements dialectiques : il en existe deux, l'**induction** et la **déduction**. » (*Topiques*, I, 12, 105a10).

L'usage de ces termes étant constant dans l'histoire des sciences, il importe de les définir et de préciser les approches qui y sont liées.

---

<sup>89</sup> *Métaphysique*, M, 4, 1078b.

<sup>90</sup> *Premiers Analytiques*, I, 1.

<sup>91</sup> *Topiques*, I-1 100a25 (déduction) et I-12, 105a13-16 (induction), trad. J. Brunschwig, « Les Belles Lettres », 1967.

### 1.2.2.1. Quatre procédures

#### - Induction.

« Elle consiste à partir des cas individuels pour accéder aux énoncés universels » (*Topiques*, I, 12, 105a10).

Induire a donc le sens de généraliser. Sa forme courante est l'induction *amplifiante*, par laquelle l'esprit "poursuit sa route" (Cournot<sup>92</sup>) au-delà des cas observés pour étendre à tout un groupe ce qu'on n'est en droit d'affirmer que de quelques-uns. On peut aussi considérer une induction *complète* ou *totalisante*, qui ne conclut qu'après que *tous* les cas individuels aient été recensés : la conclusion s'ensuit alors nécessairement, et cela revient à une déduction !

#### - Déduction.

Aristote définit en effet la déduction<sup>93</sup> comme :

« une forme d'argumentation dans laquelle, certaines choses étant posées, une chose distincte de celles qui ont été posées **s'ensuit nécessairement**, par la vertu même de ce qui a été posé » (*Topiques*, I, 1, 100a25).

Déduire signifie donc *tirer une conséquence nécessaire*.

Mais deux confusions sont fréquentes dans l'usage du verbe déduire, l'une provenant d'une trop grande extension, l'autre d'une trop grande restriction.

*L'excessive extension* est nette dans le langage courant où "déduire" est devenu synonyme de "conclure", même à l'issue d'un autre cheminement, comme pour la plupart des "déductions" de Sherlock Holmes. (Un élève subtil dont je corrigeais la copie de Bac répondit à un *Qu'en déduisez-vous ?* qui sollicitait une généralisation : « Rien, mais j'en induis que... »).

*L'excessive restriction*, à l'inverse, se produit quand on réduit la déduction au syllogisme déductif, forme sous laquelle on la présente habituellement (avec le célèbre exemple *Tous les hommes sont mortels / Socrate est un homme / donc Socrate est mortel*, qui n'est d'ailleurs pas chez Aristote, et fit dire à Valéry : « Ce n'est pas la ciguë, mais le syllogisme, qui a tué Socrate »), ou encore quand on la définit seulement, par opposition à l'induction, comme « le passage du général au particulier ». On peut en effet passer à une conséquence nécessaire sans les trois temps du syllogisme, ou encore en restant dans le général ou dans le particulier (ex. : si  $A > B$  et  $B > C$ , alors  $A > C$ ).<sup>94</sup>

Les Stoïciens tels Chrysippe (-281/-208) affinent les méthodes de la logique d'Aristote : ils avancent des cas où on ne saurait décider, les paradoxes, comme *je suis en train de mentir, est-ce vrai ?* Le paradoxe est l'inverse d'un sophisme : il paraît illogique, mais lorsqu'on l'examine attentivement, il résiste. "Si les dieux font de la dialectique, ils la font d'après Chrysippe" disait-on dans l'antiquité selon Diogène Laërce<sup>95</sup>, qui rapporte ainsi la qualité de ce logicien.

Les Stoïciens étudient notamment les cas, déjà envisagés par Aristote, où les prémisses ne sont que probables, et introduisent le connecteur d'implication "si... alors", relation souvent représentée en logique par  $p \Rightarrow q$ . On nomme  $p$  (pour proposition) l'antécédent, et  $q$  le conséquent. Ce genre de prémisses conduit aux syllogismes hypothétiques, qui sont les plus utilisés en sciences. Le médecin

<sup>92</sup> *Essai sur les fondements de nos connaissances et sur les caractères de la critique philosophique*, 1851, Hachette, t. I, IV, §49.

<sup>93</sup> Aristote utilise le mot *sylogismus* qui est traduit parfois syllogisme, parfois déduction, mais le premier terme a maintenant un sens plus restrictif.

<sup>94</sup> Cf. *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, A. Lalande, PUF 1926 – 5<sup>e</sup> édition « Quadrige » 1999, et *Le raisonnement*, P. Oléron, *Que Sais-je ?* PUF, 1977, 5<sup>e</sup> édition 1996.

<sup>95</sup> *Vies et doctrines des philosophes illustres*, VII, 180.

grec Galien (131-201), auteur d'un traité de logique<sup>96</sup>, les résume en se plaçant sous l'autorité de Chrysippe :

|  | <b>a</b>                     | <b>b</b>  |
|--|------------------------------|---|
| Dans le texte de Galien                                      | Si 1, 2.<br>Or 1,<br>donc 2. | Si 1, 2.<br>Or pas le second,<br>donc pas le premier. |
| En notation moderne<br>( $\sim q = \text{“non } q\text{”}$ ) | $p \Rightarrow q$<br>$p$     | $p \Rightarrow q$<br>$\sim q$                         |
|  | $q$                          | $\sim p$  |

Les conclusions s'ensuivent nécessairement, et ces deux modes de syllogisme concluants ont été nommés au Moyen-Âge, **a**, *modus ponendo ponens* (en posant on pose, sous-entendu p puis q), et **b**, *modus tollendo tollens* (en supprimant on supprime, sous-entendu q puis p).

### - Abduction.

Les modes **a** et **b** ci-dessus sont dans le texte de Galien, qui en présente deux autres en partant des mêmes prémisses (si 1, 2) par la phrase :

« Mais ni en rajoutant le conséquent [2] ni en rajoutant le contradictoire de l'antécédent [pas 1], on n'obtiendra de conclusion ».

Ce qui se résume, en notation moderne ( $\sim q = \text{“non } q\text{”}$ ) :

|  | <b>c</b>  | <b>d</b>   |
|--|---|--|
| D'après le texte de Galien                                   | Si 1, 2.<br>Or le second,<br>pas de conclusion. | Si 1, 2.<br>Or pas le premier,<br>pas de conclusion. |
| En notation moderne<br>( $\sim q = \text{“non } q\text{”}$ ) | $p \Rightarrow q$<br>$q$                        | $p \Rightarrow q$<br>$\sim p$                        |
|  | $?$   | $?$  |

Dans le cas **c** : pas de conclusion, disent les Stoïciens. Mais depuis Peirce (1839-1914), si de la présence d'un effet (q) on considère comme vraisemblable une cause donnée (p), on procède par *abduction*, raisonnement non valide mais très fréquent en sciences !

### - Raisonnement par analogie.

Fréquent chez Hippocrate, et satisfaisant pour certains médecins Dogmatiques, ce "raisonnement" aventureux, logiquement invalide mais parfois fécond, est basé sur une comparaison : *p* implique *q*, donc *p'*, analogue de *p*, implique *q'*, analogue de *q*. L'*actualisme*, en Géologie, est un raisonnement par analogie : le recours aux phénomènes actuels permet de proposer des explications à des phénomènes passés.

Nous avons vu comment les Empiriques se méfient de l'analogie, pour mieux conclure avec l'épilogue autopsié.

## 1.2.2.2. Validité versus nouveaux horizons

La déduction paye sa rigueur par sa stérilité. Elle présente l'avantage d'être logiquement valide ("s'ensuit *nécessairement*") mais ne mène à rien de nouveau qui n'était déjà contenu dans les prémisses : si tous les hommes sont mortels, que Socrate le soit aussi, la belle découverte. Au

<sup>96</sup> Institution logique, in Galien, *Traité philosophiques et logiques*, GF Flammarion, 1998, p. 249-251.

mieux, elle met à jour quelque chose qu'on ne percevait pas immédiatement (on saura que  $A > C$  même si  $A$  et  $C$  n'ont jamais été confrontés ni mesurés).

Les autres "raisonnements" ne sont pas logiques (on peut même dire que *ce ne sont pas* des raisonnements), mais peuvent tout de même aboutir à des conclusions utiles, quoique plus ou moins mal assises. Leur utilisation est courante en science, non légale (logiquement) mais légitime dès lors qu'on n'en oublie pas le caractère fragile : l'aspect fructueux l'emporte temporairement sur l'aspect logique, et c'est "tant pis pour la logique", disait William Whewell (voir partie 1.2.8.1.).

L'*induction généralisante*, projection illégitime de l'esprit sur des cas inobservés, va au-delà des faits mais apporte du nouveau. John Stuart Mill prenait l'exemple des cygnes blancs, « *All swans are white* » (1843, III, III, 3) : « ils [les Européens] eurent à attendre cinquante siècles pour vivre cette expérience », que des cygnes puissent ne pas être blancs, ruinant l'induction abusive. L'induction n'étant pas valide logiquement, elle peut donc "induire en erreur", mais le débordement est acceptable, tout comme dans l'analogie, s'il est ensuite éprouvé.

L'*abduction* conduit à une conclusion abusive par manque ou impossibilité de recensement de toutes les causes possibles (il faudrait au départ : si *et seulement si*  $p$ , alors  $q$ ). C'est ce qui se passe lorsqu'on conclut sur une hypothèse ( $p$ ) alors qu'on en a seulement mis à jour une conséquence ( $q$ ) possible. C'est pourquoi il est préférable de déclarer qu'une hypothèse est *corroborée* plutôt que *vérifiée* ou *validée*, alors qu'en toute rigueur logique, tout ce qu'on peut affirmer, c'est qu'elle n'a pas été réfutée, qu'elle a subi un test sans dommages et ainsi échappé (mais peut-être provisoirement) au *modus tollendo tollens*.

Ces mises au point permettent de clarifier ce qui intervient dans une "démarche hypothético-déductive" et de justifier ce nom.

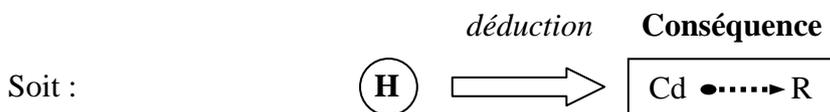
### 1.2.2.3. Raisonnement hypothético-déductif

Dans ce type de raisonnement, à partir d'une hypothèse, on considère une conséquence nécessairement impliquée, c'est-à-dire qu'on fait une **déduction** du type « si  $p$ , alors  $q$  » ( $p$  l'hypothèse,  $q$  la conséquence) :

$$H \implies \text{Csq.}$$

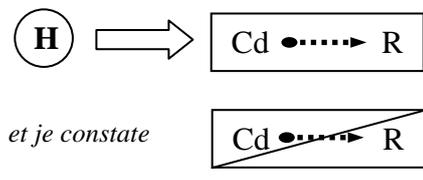
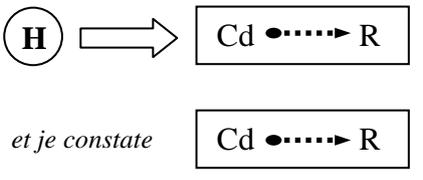
Cette conséquence, pour être testable, doit être de la forme : dans telles conditions  $Cd$  (expérimentales, ou d'observation ou de simulation), j'aurai tel résultat  $R$ .

Ce qui peut s'écrire :  $Cd \bullet \dots \blacktriangleright R$ .



Ce qui se lit : **si** mon idée de départ (hypothèse  $H$ ) est vraie, **alors** dans telles conditions j'aurais tel résultat (conséquence testable).

C'est l'implication  $Cd \bullet \dots \blacktriangleright R$  que l'on teste. Deux résultats sont possibles : ou le résultat  $R$  attendu n'est pas obtenu (cas 1), ou il l'est (cas 2) :

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>HYPOTHÈSE</b>   | (H)  |   |
| <b>1<sup>er</sup> raisonnement :</b><br><i>déduction</i> d'une<br><i>conséquence</i><br>testable | De H, il <i>s'ensuit nécessairement</i> que<br>dans telles conditions <b>Cd</b> , j'attends tel résultat <b>R</b> .<br><br>(H) $\Rightarrow$ Cd $\bullet\bullet\bullet\bullet\bullet$ R  |   |
| <b>Test et résultat</b>  | <b>cas 1</b>   | <b>cas 2</b>  |
|  | Dans les conditions <b>Cd</b> ,<br>je <b>n'</b> obtiens <b>pas R</b>   | Dans les conditions <b>Cd</b> ,<br>j'obtiens <b>R</b>   |
| <b>2<sup>ème</sup> raisonnement</b><br><br>à partir<br><br>des résultats<br><br>du test          | <i>Je parlais de</i><br><br><i>et je constate</i><br><hr style="border: 2px solid black;"/> <i>donc</i> (H) : <b>H réfutée</b><br><b>NOUVELLE DÉDUCTION</b> | <i>Je parlais de</i><br><br><i>et je constate</i><br><hr style="border: 2px solid black;"/> <i>donc</i> (H) <b>corroborée</b><br><b>SI (H) admise : ABDUCTION</b> |
| <b>Au final :</b><br>raisonnement...   | “...hypothético-déducto-déductif”  | si H admise,<br>“...hypothético-déducto-abductif”   |

Dans le premier cas, si on n'obtient pas le résultat attendu dans les conditions fixées, la conséquence impliquée et testée ne tient pas, et donc on peut en *déduire* que l'hypothèse est réfutée. On a fait une *nouvelle déduction* :  $[p \text{ implique } q]$  et  $[\text{non } q]$ , donc  $[\text{non } p]$ . Au total, on pourrait donc dire que le raisonnement a été “hypothético-déducto-déductif” !

Dans le second cas, si on obtient le résultat attendu, la conséquence impliquée et testée, est réalisée : dans les conditions prévues, on a bien le résultat escompté. Mais on ne peut rien en *déduire* ! En effet, la seule autre forme de syllogisme valide serait : si  $p$  alors  $q$  ; et  $p$ , donc  $q$ . Or ici on a : si  $p$  alors  $q$  ; et  $q$  donc... rien du tout ! Ou, au mieux : *peut-être p*, car au départ je n'ai pas  $[p]$  et seulement  $p$  implique  $q$  –c'est-à-dire que j'ai d'autres hypothèses possibles, que je n'ai pas testées. Donc mon hypothèse est peut-être vraie, en tout cas elle a résisté au test, elle n'a pas été réfutée : *corroborée* ne signifie pas autre chose.

Si je conclus de  $q$  que l'hypothèse  $p$  est vraie ou même vraisemblable, je ne fais pas une déduction (le seul raisonnement logique) mais une *abduction*, invalide. Mais tout en étant conscient de la fragilité de ce que j'ai “abduit”, je peux l'admettre jusqu'à preuve du contraire, tout en restant dans le *doute expérimental* cher à Claude Bernard.

Dans ce cas, le raisonnement, invalide, aura été “hypothético-déducto-abductif” : c'est la règle en sciences !... Mais aussi dans d'autres formes d'enquête : c'est pourquoi Umberto Eco (1994) nomme l'abduction “la méthode du détective”, et la voit également à l'œuvre chez Sherlock Holmes.

Le commentateur du *Nom de la Rose* annonce :

« Guillaume révèle sa méthode pour arriver à une **vérité probable à travers une série d'erreurs certaines** »

Et Guillaume explique :

« les autres m'ont cru sage parce que j'ai gagné, mais ils ne connaissent pas les nombreux cas où j'ai été penaud parce que j'avais perdu » (1982, p. 327-329).

Eco résume :

« Les scientifiques sont rémunérés pour leur patience dans la **vérification des abductions** qu'ils font » (1996, p. 284).

Dans le cas où le résultat attendu n'est pas obtenu, la réfutation est certaine (sauf erreur dans son obtention), tandis que si le résultat est conforme aux attentes, une incertitude demeure. Aristote exprime une idée comparable :

« l'effet existant, il n'est pas nécessaire que tout ce qui peut en être cause existe ; ce qui est nécessaire c'est qu'une cause existe et non pas toutes les causes »<sup>97</sup>,

là où nous dirions : un effet existant, il n'est pas nécessaire que ce qui peut en être une cause possible existe.

Si l'on retient qu'il y a entre une hypothèse et sa conséquence la relation *hypothèse = antécédent et conséquence = conséquent*, on voit que Galien exprime l'*asymétrie* entre une circonstance qui parvient à renverser l'antécédent et la circonstance inverse qui ne parvient pas à l'établir :

« d'une prémisse hypothétique (...), si l'on rajoute le contradictoire du conséquent on aura comme conclusion le contradictoire de l'antécédent. Mais (...) en rajoutant le conséquent on n'obtiendra [pas] de conclusion ».

Une idée reprise par Popper, dans *La logique de la découverte scientifique* :

« Ma proposition est fondée sur une *asymétrie* entre la vérifiabilité et la falsifiabilité, asymétrie qui résulte de la forme logique des énoncés universels. (...) Il est, en conséquence, possible de conclure de la vérité d'énoncés singuliers [*présence de ~q*] à la fausseté d'énoncés universels [*hypothèse p renversée*], à l'aide d'inférences purement déductives (le *modus tollens* de la logique classique) » (1934, p. 38).

Ce qu'Hermann Weyl, collaborateur d'Einstein, résumait en une jolie formule :

« une Nature inflexible, qui dit si **distinctement** 'Non' et si **indistinctement** 'Oui' à nos théories » (1931, p. XX).

Il n'est également pas rare que la nature réponde à côté de la question, ou plutôt qu'elle en dise plus long que ce qu'on lui demandait, par un "non, mais..." ou un "oui, mais aussi..." qui peut intéresser l'investigateur davantage que sa question d'origine, et lui montrer après coup quelle question, dont il a maintenant la réponse, il aurait mieux fait de poser.

---

## 1.2.3. Deux voies codifiées

### 1.2.3.1. Expérience et induction : Bacon

Dans la voie de l'induction telle que Bacon la caractérise, il convient d'éviter les sauts intempestifs de l'esprit :

« Il ne faut pas cependant permettre que l'entendement **saute et vole** des particuliers jusqu'aux axiomes éloignés (...), ce n'est **pas de plumes** qu'il faut pourvoir l'entendement des hommes, mais plutôt **de plomb** et de lest pour lui interdire tout saut et tout vol. » (1620, I, 104).

Il s'agit de procéder à un inventaire des observations et des expériences disponibles sur un sujet de recherche, de les enrichir d'expériences complémentaires en tenant pour suspect "ce qui frappe les sens" et en recueillant des choses "très différentes et fort éloignées" (I, 28), puis à les répartir dans trois *tables*, "sans spéculation prématurée" : une table de *présence*, une d'*absence dans la proximité* et une des *degrés*. Pour bien voir de quoi il s'agit, il fournit l'exemple de la recherche de la nature de la *chaleur*. La table de *présence* recense les cas dans lesquels se manifeste l'objet de la recherche : ici, les rayons solaires, les flammes, les vapeurs bouillantes, le corps des animaux, la brûlure par le chaud et le froid, etc. La table d'*absence dans la proximité* reprend un à un les cas recensés et y apporte, si possible, des restrictions, lorsque dans des cas proches, l'objet recherché est absent : ainsi les rayons de la Lune ou des étoiles ne font pas sentir de chaleur, mais "faites avec attention l'expérience suivante, pour voir si, en passant par des verres" ils produiraient quelque tiédeur. De même, il y a des vapeurs froides, la neige brûle les mains mais empêche la viande de se putréfier, etc. La table des *degrés* comporte 41 cas de variation de chaleur, par exemple en fonction de l'inclinaison des rayons solaires, suivant les espèces animales, ou encore selon les circonstances : Bacon note qu'on gagne en chaleur lors des fièvres, mais aussi par l'exercice, le vin et l'amour !... Souvent, pour compléter ses recensements, il préconise de réaliser telle ou telle expérience complémentaire (sans préciser toutefois s'il a payé de sa personne dans ces deux derniers cas). Il est conscient de ce que ces tables peuvent avoir de relatif et d'incomplet :

« il nous arrive d'introduire des oui-dire ou des relations (en y ajoutant toujours cependant un avertissement sur leur crédibilité et leur autorité), mais souvent aussi nous ne pouvons éviter d'employer les formules : *il faudrait faire l'expérience... il faudrait procéder à un examen plus poussé...* » (1620, II, 14).

Bachelard (1938, p. 58) voit Bacon appliquer à la nature les procédés d'une enquête, à grands renforts de témoignages expérimentaux et de recoupements.

Ces tables qu'il pense ainsi objectiver au mieux sont comme autant de procès-verbaux consignés par écrit, au sujet desquels il utilise l'expression "expérience lettrée", qui vont maintenant "comparaître" devant l'entendement (Bacon, chancelier, transpose en sciences la langue des juristes, et c'est surtout à sa suite que l'on parlera de *lois* de la nature). Il faut, dit Bacon, « tordre la queue du lion »<sup>98</sup>, expérimenter sur le monde pour qu'il livre ses secrets,

« car la nature des choses se livre davantage à travers les tourments et l'art que dans sa liberté propre. » (1620, p. 83).

L'opération qui intervient après les inventaires est l'*exclusion* : par la confrontation entre les tables, tout ce qui n'a qu'un lien accidentel avec l'objet de la recherche est exclu, pour ne conserver que ce qui, l'accompagnant en toutes circonstances, le caractérise. Ainsi est rejeté ce qui peut être présent (comme la lumière) alors que la chaleur est absente, ce qui augmente alors qu'elle décroît, etc., afin de séparer l'essentiel de l'accessoire. Le procédé est fort semblable à une purification alchimique, et

---

<sup>98</sup> Cité par René Thom in Hamburger, J. (1986) *La philosophie des sciences aujourd'hui*, Gauthier-Villars, p. 15.

Bacon utilise d'ailleurs cette comparaison : les données sont soumises au "feu de l'esprit", et "toutes les opinions volatiles s'en allant en fumée", la *solution* restant au fond du creuset (II, 16).

On peut alors s'élever à une proposition générale par une "*permission de l'entendement* ou *ébauche d'interprétation* ou *première vendange*" accordée à l'esprit. Bacon propose comme première vendange pour la chaleur l'idée qu'il s'agit d'un "mouvement expansif réfréné". Ensuite vient l'examen et la vérification (*probatio*) de cette proposition par d'autres cas et d'autres expériences.

Bacon présente sa méthode comme sûre : instrument nouveau (*Novum organum* appelé à se substituer à l'*Organon* d'Aristote), elle laisse peu de place au talent personnel, tout comme avec une règle ou un compas chacun peut tracer une ligne droite ou un cercle parfait bien plus aisément qu'à main levée (1605, p. 166 et 1620, I, 61). Les anciens comme les modernes, ne disposant pas de sa méthode, n'ont pu faire une bonne vendange dans les sciences, et n'ont bu que de l'eau,

« coulant librement de l'entendement ou tirée du puits par les roues de la dialectique. Mais nous, nous buvons et nous présentons à boire une liqueur qui est extraite d'une infinité de raisins, tous mûrs et bien à point, cueillis et détachés en grappe, puis écrasés dans le pressoir, enfin purifiés et clarifiés dans une cuve. » (1620, I, 123).

L'analyse de ses tables montre que ses collectes sont, malgré l'abondance, partielles et partiales. Des données importantes sont omises, d'autres admises à tort, tout semble d'égale importance, et on voit mal que faire de certains constats, comme de la lumière toujours présente avec le feu, ou de la chaleur du tas de fumier que Kuhn cite en exemple de faits dont on ne saura longtemps rendre raison (1962, p. 36). Ses récoltes ne sont pas exemptes de préjugés et de croyances correspondant à certaines de ces "idoles" dont il avait cru pouvoir se séparer. « Toute cette doctrine est bien vague », commente l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert à l'article *Chaleur*. Comme le résume plaisamment Liebig (1866, p. 55), soulignant la lourdeur du processus inventaires-exclusions,

« il faut jeter par-dessus le bord, à quelques rares exceptions près, toute la cargaison de phénomènes et d'effets dont on a si péniblement chargé son vaisseau. »

Les *Histoires naturelles* qu'a composées Bacon n'ont apparemment pas servi, comme il le souhaitait, de base à la postérité.

C'est par son appel à des observations soigneusement recueillies, à des expériences méthodiquement provoquées et variées, et à l'extraction prudente des connaissances de celles-ci, ainsi qu'à l'instauration de sociétés scientifiques, que Bacon a exercé une large influence, plutôt que par la lourde procédure qu'il décrit. Il ne donne d'ailleurs que l'exemple de la chaleur pour l'usage de ses tables. La *Royal Society*, fondée en 1660, l'érige en figure tutélaire et s'inscrit dans des programmes de recherche qui s'en inspirent, tout comme l'*Académie royale des Sciences* fondée en 1666 et à laquelle Huygens, le plus grand savant du temps, assigne la tâche de travailler "à peu près suivant le dessein de Verulamius"<sup>99</sup>.

Son apport a cependant tout autant été rejeté : Popper qualifie de "méthode légendaire" son "industrielle cueillette" de raisins, "dont il attendait que jaillisse le vin de la science" (1934, p. 285).

Gaston Sortais, de même, déplore :

« il faut se contenter du vin aigrelet de la "Première Vendange" » (1920, p. 373).

---

<sup>99</sup> Halleux, R. (1982). Huygens et les théories de la matière, in *Huygens et la France*, CNRS, Vrin, 1982, p. 188.

L'exclusion à partir des tables, pointe-t-il, ne devait laisser subsister que l'essence véritable de ce qui est recherché, mais Bacon n'a pas précisé quel critère indique que les tables de départ sont assez riches :

« il faut donc renoncer à parvenir par cette voie (...) à la certitude complète que Bacon se flattait d'obtenir. » (1920, p. 373).

En recommandant de lester de plomb l'esprit humain,

« Il n'a que trop bien réussi à entraver son propre essor. » (*id.*).

Bachelard (1938, p. 58) reprend le jugement de Liebig (1866), estimant que Bacon ne parvient presque toujours qu'à une généralité mal placée. Et la préface de l'édition de référence de ses œuvres (Spedding) mentionne que sa méthode, impraticable, n'a jamais produit aucun résultat<sup>100</sup>.

Si ces analyses négatives subsistent à l'époque actuelle, d'autres lui sont plus favorables : pour Grmek (1990, p. 71), Bacon établit les principes du passage de faits dûment constatés à la règle générale, et il a œuvré utilement :

« bien que l'induction baconienne se soit toujours heurtée sur la plan philosophique à de très graves difficultés, (...) sa théorisation et son **usage pragmatique** ont joué un rôle décisif dans le **développement de la méthode expérimentale** ».

Michèle Le Dœuff<sup>101</sup> voit la première œuvre majeure de Bacon (1605) comme une base fondamentale :

« *Du Progrès est comme le creuset de la philosophie du siècle* ou comme son préambule ».

Peter Urbach en fait même un précurseur de Popper, procédant par conjecture et réfutations<sup>102</sup>. Dès 1605, Bacon met en effet en avant la force supérieure des réfutations par rapport aux "confirmations" (idée qui sera centrale chez Popper), prenant en exemple le cas des nombreux marins invoquant Neptune dans la tempête et qui, survivants, y voient la preuve de l'efficacité de leurs prières et le remercient en plaçant leur portrait dans son temple :

« Mais où sont peints ceux qui périssent après avoir prononcé un vœu ? » (1605, p. 174 et repris en 1620, I, 46).

Il en conclut :

« Lorsqu'il faut établir un axiome vrai, la force de l'instance négative est plus grande ».

Ce qui est l'expression anticipée de l'asymétrie de Popper et de Weyl (partie 1.2.2.3.).

Bacon a au moins indiqué la voie : ne plus se reposer aveuglément sur les Anciens mais s'en prendre à la queue du lion pour voir comment il rugit, expérimenter.

---

<sup>100</sup> Spedding, Ellis & Heath, *The works of Francis Bacon*, Longmans, 1858, I, p. 38.

<sup>101</sup> Avant-propos à Bacon, F. (1605), 1991, p. LXII.

<sup>102</sup> Urbach, P. (1982). Francis Bacon as a Precursor to Popper, *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 33, No. 2 (Juin 1982), p. 113-132.

### 1.2.3.2. Intuition et déduction : Descartes

“La raison décide en maîtresse” : c’est à Descartes et à son étude de la réfraction que La Fontaine fait directement allusion quand la raison redresse le bâton dans l’eau vu courbé.

Descartes, qui emprunte beaucoup de son scepticisme à Montaigne, avance avec à la fois un rejet des anciens et un langage clair et convaincant.

Les fondements de l’édifice cartésien et les raisons de ses choix premiers sont révélés par son premier écrit, les *Règles pour la direction de l’esprit* (ou *Regulae*, 1628, paru en 1701), texte de jeunesse qu’il ne publia pas mais qui servit de base au *Discours* de 1637. Il y distingue deux voies pour arriver à la connaissance des choses : l’*expérience* et la *déduction*. Mais « l’expérience est souvent **trompeuse** », tandis que la déduction, au contraire, permet « d’acquérir une connaissance **certaine et indubitable** », comme le lui montrent l’arithmétique et la géométrie, « de beaucoup plus certaines que les autres sciences », les seules « entièrement exemptes de fausseté ou d’incertitude ». Car, dit-il, « à part l’inattention, il est à peine supposable qu’un homme s’y égare ». Ailleurs, les erreurs viennent « de ce qu’on part de certaines expériences peu comprises, ou qu’on porte des jugements hasardés et qui ne reposent sur aucune base solide » : la base expérimentale et la progression par induction, où s’est engagé Bacon, sont pour lui trop peu sûres, surtout face à la voie mathématique ferme et rigoureuse, qu’il se propose donc d’étendre à toutes les sciences. Aussi conclut-il que pour s’élever à la connaissance *sans crainte de se tromper*, il n’est que deux moyens : l’*intuition* et la *déduction*. Et pour ne pas commettre d’erreur, il faut rejeter toutes les opinions reçues, et ne partir que du *cogito* dont chacun a nécessairement l’intuition claire. À partir de ce point de départ opère la déduction,

« l’opération, qui d’une chose dont nous avons la connaissance certaine, **tire des conséquences** qui s’en **déduisent nécessairement** »,

tels les quelques principes fondamentaux qui gouvernent toute sa philosophie, ainsi marqués du sceau de la *raison pure* cartésienne.

Descartes ne néglige cependant ni l’expérience, ni l’induction, du moins dans ses propos. Mais la voie qui part de l’expérience et s’élève présente peut-être aussi le défaut d’avoir déjà été explorée au long par Bacon.

Les *Regulae* et les réponses de Descartes aux objections faites à ses *Méditations métaphysiques* (1641) sont éclairantes sur sa perception de l’induction, procédé qui paraît d’autant moins rejeté que le dernier des quatre célèbres préceptes du *Discours de la méthode* semble de nature inductive :

« (...) de faire partout des **dénombrements** si entiers et des **revues si générales**, que je fusse assuré de ne rien omettre. »

Ce “dénombrement” est habituellement commenté comme étant une précaution déductive (ne rien omettre dans une longue chaîne déductive), bien que sa formulation, renvoyant à “tout compter” et “tout voir”, semble davantage appropriée à un rassemblement préalable à l’induction. C’est que le précepte IV de 1637 est issu de la règle VII de 1628, qui confirme cette nature, mais ne s’y limite pas :

« Ici l’énumération, **ou l’induction**, est la recherche attentive et exacte de tout ce qui a rapport à la question proposée. (...) par énumération suffisante **ou induction**, nous entendons ce moyen qui nous **conduit à la vérité** plus sûrement que tout autre, **excepté l’intuition** pure et simple. En effet, si la chose est telle que nous **ne puissions** la ramener à l’intuition, ce n’est pas dans des formes syllogistiques, mais **dans l’induction** seule que nous devons mettre notre confiance. » (1628, règle VII).

Ces deux routes, et la préférence pour l’intuition et le syllogisme, étaient annoncées dès la règle II :

« Remarquons que nous arrivons à la connaissance des choses par **deux voies**, c'est à savoir, **l'expérience** et la **déduction**. (...) l'expérience est souvent trompeuse ; la déduction, au contraire, (...) peut ne pas se faire, si on ne l'aperçoit pas, mais n'est jamais mal faite. » (1628, règle II).

Mais l'expérience ne doit pas être délaissée : la règle V dénonce ceux qui, à la manière des astrologues, se prononcent sans bien observer :

« Ainsi font (...) la plupart des philosophes, qui, **négligeant l'expérience**, croient que la vérité **sortira de leur cerveau** comme Minerve du front de Jupiter »,

Ce qui est exactement ce qu'on lui reprochera par la suite.

L'induction non seulement a sa place, mais il est des cas où « il ne sera pas nécessaire que l'énumération soit complète », par exemple :

« Si enfin je veux **montrer par énumération** que la surface d'un cercle est plus grande que la surface de toutes les figures dont le périmètre est égal, je ne passerai pas en revue toutes les figures, mais je me contenterai de faire la preuve de ce que j'avance sur quelques figures, et de le conclure **par induction** pour toutes les autres. » (règle VII).

C'est même cet exemple géométrique que Descartes utilise pour dire à Gassendi qu'il l'a mal compris quand ce dernier déclare que *je pense, donc je suis* résulte d'un syllogisme (celui qui pense est ; je pense, donc je suis), ce qui fait s'aventurer Descartes dans le domaine de l'enseignement, sur la question du rapport entre règle et exemples :

« Mais l'erreur qui est ici la plus considérable est que cet auteur suppose que la connaissance des propositions particulières doit **toujours** être **déduite** des universelles, suivant l'ordre des syllogismes de la dialectique ; en quoi il montre savoir bien peu **de quelle façon la vérité se doit chercher** : car il est certain que pour la trouver on doit **toujours** commencer par les notions particulières, pour venir après aux générales, bien **qu'on puisse aussi**, réciproquement, ayant trouvé les générales, en déduire d'autres particulières. Ainsi, quand on **enseigne** à un enfant les éléments de la géométrie, on ne lui fera **point entendre en général** que, lorsque de deux quantités égales on ôte des parties égales, les restes demeurent égaux, ou que le tout est plus grand que ses parties, si on ne lui en **montre des exemples** en des **cas particuliers** » (1641, p. 423-424).

On notera en passant que Descartes, s'emportant dans la défense de son *cogito*, exagère en déclarant *toujours* commencer par les notions *particulières* pour accéder à la vérité, puisqu'il suffit pour lui de concevoir une chose claire et distincte :

« toutes les choses que nous concevons clairement et distinctement sont vraies » (1641, p. 50),

celles dont il part ayant valeur générale (la pensée, l'immortalité de l'âme, l'infini, l'existence de Dieu...). On imagine mal Descartes, appliquant son propos, partir de la notion particulière "existence de Dieu" pour chercher ensuite la vérité dans une notion plus générale.

En dehors de sa méthode, Descartes fournit des préceptes qui, pour l'enseignement, s'opposent aux habitudes scolastiques : partir de l'exemple et non de la règle, douter des raisons données par les autres, trouver par soi-même. Ainsi :

« j'ai toujours mis le plus grand plaisir des études, non point à écouter les raisons des autres, mais à les **trouver par mon industrie propre**, et cela seul m'ayant attiré à l'étude des sciences lorsque j'étais encore jeune » (1628, Règle X).

« on ne saurait si bien concevoir une chose et la rendre sienne, lorsqu'on l'apprend de quelqu'un d'autre, que lorsqu'on **l'invente soi-même**. » (1637, p. 120).

Cette dernière formulation ne déparerait pas sous la main de Piaget !

### 1.2.3.3. Rapprochements

Bacon et Descartes sont donc engagés chacun sur leur voie, le premier dans sa prudente ascension inductive pavée d'expériences, le second, encordé d'assurance rationnelle dans sa descente déductive. Mais ils en viennent à se rencontrer tout de même, aucune des deux voies ne garantissant la certitude, lorsqu'ils se retrouvent face à des *possibles*.

Bacon part de la diversité des phénomènes et réduit le champ des possibles, avançant en rejetant et excluant devant lui les *faits* impurs, mais plus d'une option subsiste ; Descartes, ayant exclu les *idées* impures, déroule son raisonnement à partir d'un principe unique mais bientôt parvient à un éventail de divers embranchements possibles : l'un dans son ascension comme l'autre dans sa descente rencontre un escarpement infranchissable en s'en tenant à l'équipement d'origine, qu'on pourrait nommer *la falaise des possibles*. Elle les contraint à changer de méthode sous peine de voir leur progression bloquée, et, ainsi, les rapproche.

Descartes, faisant un crochet par l'expérience, rejoint alors Bacon, qui fait un détour par l'hypothèse, sur la même voie hypothético-déductiviste.

Les hypothèses semblaient pourtant devoir être évitées par nos deux réformateurs, qui veulent établir des *certitudes*. Elles trouvent cependant droit de cité, lorsqu'on ne peut se passer d'elles. Incertitudes limitées et temporaires, certes, mais pour se hisser, Bacon doit lancer une idée au-dessus des faits, comme un grappin, tandis que Descartes doit choisir quelle idée finale il doit empoigner, parmi plusieurs, pour gagner le sol : sans l'aide de conjectures, ni les exclusions soigneuses ni les chaînes de pures déductions ne conduisent au but.

#### Bacon et les hypothèses.

Bacon dit avancer par une voie médiane :

« les **empiriques**, à la manière des **fourmis**, se contentent d'amasser et de faire usage ; les **rationnels**, à la manière des **araignées**, tissent des toiles à partir de leur propre substance ; mais la **méthode de l'abeille** tient le **milieu** : elle **recueille** sa matière des fleurs des jardins et des champs, mais la **transforme** et la digère par une faculté qui lui est **propre**. » (1620, I, 92).

Il rejette ainsi non seulement la spéculation stérile, mais aussi l'expérience commune (*experientia vulgaris*, 1620, I, 70), ce qui le distingue des empiristes qui "tirent des expériences d'autres expériences" (I, 117).

Il proclame d'ailleurs en ouverture de son œuvre majeure :

« Ni la **main** nue ni l'**entendement** laissé à lui-même n'ont beaucoup de force » (I, 2).

L'union de la main et de l'esprit est souvent réaffirmée :

« Aussi, d'une alliance plus étroite et plus respectée entre ces deux facultés, **expérimentale** et **rationnelle** (alliance qui reste à former), il faut bien espérer. » (I, 95).

Lui juge y être parvenu :

« Nous estimons avoir raffermi à jamais les liens d'un **mariage vrai et légitime** entre la faculté **empirique** et la faculté **rationnelle**, dont les multiples divorces et répudiations, aussi pénibles que funestes, ont semé le trouble dans la famille humaine. » (1620, p. 72).

L'œuvre de Bacon, inachevée, présente cependant dans les exemples fournis beaucoup plus d'images de patientes récoltes que de décollages avisés. Son abeille s'affaire beaucoup à terre,

armée d'un arsenal expérimental lourd, et l'envol, rare, malaisé ou marginal, semble plutôt être celui d'une éphémère fourmi ailée.

On repère néanmoins d'intéressantes élévations, en différentes occasions.

- Tout d'abord, au cours du travail de réjection, l'envol en fumée des "opinions volatiles". Le principe en est que :

« toute instance contradictoire **renverse une conjecture** avancée » (II, 18).

Les contradictions tuent certes dans l'œuf des conjectures à peine exprimées et éclaircissent le chemin en faisant se dissiper ces *opinionibus volatilibus*, mais ces conjectures n'en ont pas moins été présentes et joué leur rôle. Si Bacon prétend tout de même pouvoir parvenir à la certitude absolue, comme le rappelle Popper (1963, p.33), c'est que tout en avançant ainsi au milieu des fumées, l'idée s'affine lorsqu'elle parvient à étendre son champ d'application (Malherbe (1985), Le Dœuff (1985)).

- Puis sa *première vendange*, ce saut permis à l'entendement et qui mène à l'axiome, qu'il prend d'infinies précautions pour présenter : "permission", "essai", "tentative" dûment préparée, au caractère le moins conjectural possible. Bacon, dans son œuvre inachevée, ne fournissant qu'un exemple incomplet de sa méthode, des directives générales et des recueils de données devant servir ultérieurement, cela ne laisse pas entrevoir sans ambiguïté la nature de ce "saut" et le devenir des axiomes "vendangés". On attend de la proposition dégagée qu'elle étende son domaine de validité en incorporant de nouveaux cas, mais cela constitue-t-il la mise à l'épreuve d'une hypothèse générale ? C'est ce qu'admettent la plupart des commentateurs (tels Rémusat (1857, p. 249), Oldroyd (1972, p. 121 ; 1986, p. 62), ou Pérez-Ramos (1993, p. 151)).

C'est aussi ce que semble révéler un texte antérieur, non publié de son vivant :

« Que ce **test** (*opus*), par nature, ne décide pas seulement si l'on peut ou non tirer profit de la connaissance, mais qu'il décide même si elle est **vraie ou non** ; non qu'il vous soit permis de toujours **conclure que votre axiome est vrai** quand il découvre de nouvelles instances, **mais, au contraire**, vous pouvez conclure sans risque que, s'il ne découvre aucune nouvelle instance, **il est faux** et sans consistance. »<sup>103</sup>

Si l'on doit attendre la rencontre de nouveaux cas pour statuer sur un axiome, c'est bien qu'il présente un caractère incertain.

Une remarque faite en passant, à propos de la paresse de l'esprit, confirme fortement cette interprétation, puisqu'il y est question d'**éprouver les axiomes** :

« Mais faut-il passer rapidement à des instances éloignées et hétérogènes qui **mettent à l'épreuve les axiomes, comme par le feu**, alors l'entendement se traîne avec une lenteur et une maladresse totale » (1620, I, 47).

Le latin d'origine confirme que la traduction respecte cette idée importante : *axiomata tanquam igne probantur*.

- L'usage d'hypothèses devient explicite lorsque Bacon recherche non des "natures" (de la chaleur, de la blancheur... comme Platon cherchait, lui aussi par exclusion, des définitions), mais des *causes*.

Ainsi, s'interrogeant sur les formes de la chaleur chez les animaux, il avance trois suppositions :

---

<sup>103</sup> Bacon, F. (1603 ?). *Le « Valerius Terminus »* (ou *de l'interprétation de la nature*), trad. F. Vert, Méridiens Klincksieck, 1986, ch. XII p. 56.

« Semblablement, **le doute demeure** de savoir **si** la tiédeur dans la laine, les peaux, les plumes, etc., tient à une chaleur de faible degré inhérente à ces choses, dans la mesure où elles sont sécrétées par les animaux, **ou si** elle résulte d'une certaine substance grasse et huileuse qui par sa nature aurait de l'affinité avec la tiédeur, **ou encore si** elle vient simplement de ce que l'air y est confiné et isolé (...). **C'est pourquoi, il faudrait faire l'expérience** avec les substances fibreuses tirées du bois, et non avec celles tirées de la laine, des plumes ou de la soie, qui sont des sécrétions animales. » (1620, II, 12).

- Son sentiment sur les expériences qui échouent se réfère aux *idées* qui ont présidé à leur mise en œuvre :

« Il ne faut pas perdre courage ni être confondu si les expériences sur lesquelles on travaille ne répondent pas à nos attentes [*expectationi*]. Elles sont plus plaisantes lorsqu'elles réussissent, mais lorsqu'elles échouent, elles n'informent pas moins. » (1623)<sup>104</sup>.

- Plus significativement encore, Bacon fournit à son induction qui ne parvient pas, seule, à conclure, des aides qui “suppriment bien des détours”, nommées *instances prérogatives* (cas ayant une importance majeure). Parmi elles, les *Instances de la Croix* nous présentent des exemples typiques de démarches hypothético-déductives, mais on voit assez qu'en ne plaçant les aides de ce type qu'au quatorzième rang des aides à l'induction, elles n'ont pour lui qu'un caractère marginal, ne représentant qu'un recours éventuel, et cependant :

« (...) les instances de cette sorte répandent **la plus grande lumière** ; elle sont, pour ainsi dire, d'une **grande autorité** et d'un effet tel que parfois la carrière de l'interprétation y prend fin et s'y achève. » (II, 36).

Une instance de la croix (*Instantia crucis*) est ainsi nommée en référence aux croix qui, dressées aux croisées des chemins, indiquaient les directions. Son importance décisive nous a donné, depuis Bacon, le sens moderne du mot *crucial*. Le terme sera repris par Descartes, puis Hooke et Newton (*experimentum crucis*).

Il s'agit d'utiliser l'expérience pour trancher entre deux ou plusieurs interprétations des faits, plusieurs *hypothèses* dit-il.

Par exemple, concernant le flux et le reflux de la mer :

« Il est absolument nécessaire que ce mouvement soit causé **ou bien** à la façon d'une eau agitée dans un bassin, (...) **ou bien** à la façon d'une eau qui monte en bouillant, puis retombe. (...) Si l'on retient la première proposition, il est nécessaire qu'au moment où d'un côté se produit les flux de la mer, au même moment, il se passe quelque part, de l'autre côté, un reflux. Et c'est donc à cela que **se réduit la recherche**. » (II, 36).

Une étude attentive a montré que les marées sont simultanées en Floride et en Espagne : malgré ce résultat qui semble *crucial*, Bacon fait une remarque méthodologique importante, qui montre qu'on ne peut réduire son expérience cruciale à “si ce n'est l'un, c'est *donc* l'autre” :

« Cette observation ne **suffit pas** pour imposer le mouvement par élévation et ruiner le mouvement par progression [va-et-vient] » (*id.*).

Le résultat n'exclut qu'un va-et-vient intra-Atlantique, mais il pourrait se faire à plus grande échelle, entre Atlantique et Pacifique : il faut, dans l'*instance de la croix* qu'il propose, que le constat de simultanéité vaille pour toutes les mers. Supposons que ce soit le cas, dit-il, nous rencontrons alors “un carrefour à trois voies” : ou bien les eaux sortent des entrailles de la Terre et s'y replient, ou bien elles se dilatent, ou bien c'est “une force magnétique qui les attire”, et l'*instance de la croix* qu'il propose est un sondage de la profondeur dans les détroits,

« **pour voir si** dans les reflux la mer n'est pas plus haute » (*id.*).

---

<sup>104</sup> *De Augmentis Scientiarum*, V, II (1623). In *The works of Francis Bacon*, vol. VII, Rivington, 1826, p. 237.

Sur la gravité :

« Il est nécessaire **ou bien** que les corps graves ou pesants tendent par nature vers le centre de la Terre (...), **ou bien** qu'ils soient attirés, entraînés par la masse corporelle de la Terre elle-même (...). La **seconde hypothèse** entraîne les **conséquences** suivantes : plus les graves s'approchent de la terre, plus fort et rapide est l'élan avec lequel ils se portent vers elle » (*id.*).

Voici l'*instance de la croix*, telle que Voltaire, la citant deux fois, la résume :

« (...) il faut **expérimenter si** la même horloge à poids ira plus vite sur le haut d'une montagne ou au fond d'une mine. Si la force des poids diminue sur la montagne et augmente dans la mine, il y a apparence que la terre a une vraie attraction. » (Voltaire 1734, XIV et 1764).

Relevons l'enchaînement méthodologique du Chancelier : d'une *hypothèse*, il déduit des *conséquences* qui le portent à une *expérience* qui permettra de conclure.

### Descartes et les expériences.

Descartes, de son côté, veut procéder "en démontrant les effets par les causes" (1637, p. 82). À partir des principes,

« j'ai examiné quels étaient les premiers et plus ordinaires **effets** qu'on pouvait **déduire** de ces causes »

Des causes à leurs effets par déduction : il procède bien ici *a priori*. Mais il poursuit :

« et il me semble que par là j'ai trouvé des cieux, des astres, une terre, et même sur la terre de l'eau, de l'air, du feu, des minéraux, (...). Puis, lorsque j'ai voulu descendre à celles qui étaient plus particulières, il s'en est **tant présenté à moi de diverses**, que je n'ai pas cru qu'il fut possible à l'esprit humain de distinguer les formes ou espèces de corps qui **sont** sur la terre, d'une infinité d'autres qui **pourraient y être** si c'eût été le vouloir de Dieu de les y mettre, ni par conséquent de les rapporter à notre usage, si ce n'est qu'on vienne **au devant des causes par les effets**, et qu'on **se serve de plusieurs expériences** particulières. » (1637, p. 101).

Cet extrait est intéressant à double titre : Descartes cherche à distinguer le *réel* (corps qui sont sur la terre) du *possible* (infinité d'autres qui pourraient y être), et pour cela il *inverse sa marche*, des effets aux causes, par le recours à l'expérience.

Car partant des principes, un effet « peut en être **déduit en plusieurs diverses façons** », et pour savoir laquelle :

« (...) je ne sais point d'autre expédient que de **chercher derechef quelques expériences** qui soient telles que leur événement ne soit pas le même si c'est en l'une de ces façons qu'on doit l'expliquer que si c'est en l'autre. » (*Discours* p. 101).

Si sa méthode reste avant tout déductive, il n'hésite donc pas, si cela lui semble nécessaire, à ne voir dans ses déductions que des hypothèses.

Il confirme le rôle qu'il entend laisser aux expériences, intention qu'on lui a trop peu reconnue, dans ses *Principes de la philosophie*, où un paragraphe s'intitule *Des phénomènes ou expériences, et à quoi elles peuvent servir* (1644, III, 4) :

« (...) les principes (...) sont si amples qu'on peut en **déduire beaucoup plus de choses** que nous n'en voyons dans le monde (...). C'est pourquoi je ferai ici une brève description des principaux phénomènes dont je prétends chercher les causes ; **non pas afin d'en tirer des raisons** qui servent à prouver ce que j'ai à dire ci-après, car **j'ai dessein d'expliquer les effets par leurs causes**, et non les causes par leurs effets, mais **afin que nous puissions choisir**, entre une infinité d'effets qui peuvent être déduits des mêmes causes, ceux que nous devons principalement tâcher d'en déduire. »

Ce passage important précise le programme de Descartes, et rappelle sa distance par rapport à celui de Bacon. La description des phénomènes n'est pas destinée à s'élever en en "tirant des raisons", contrairement à la voie choisie par Bacon. Descartes, lui, part des "semences de vérités qui sont naturellement en nos âmes" que le doute n'a pu ébranler, et en descend par voie de déduction.

« La **raison toute pure** nous a fourni assez de **lumière** pour nous faire découvrir quelques **principes** » (1644, III, 1).

C'est cette *raison pure* que critiquera Kant.

Descartes confirme dans les *Principes* de 1644 la phase terminale énoncée dans le *Discours* :

« (...) ces choses ayant pu être ordonnées de Dieu en une infinité de diverses façons, c'est **par la seule expérience**, et **non par la force du raisonnement**, qu'on peut savoir **laquelle** de toutes ces façons il a choisie. » (1644, III, 46).

L'expérience intervient à ce stade ultime, une fois que le travail essentiel, déductif, est fait : la liaison entre principes causaux et effets naturels est assurée, le système peut se tenir par diverses raisons possibles, il ne reste qu'à savoir quelle est la raison réelle. Du bord de la falaise des possibles, diverses voies vers les effets sont repérées, pour savoir laquelle correspond au réel, il n'y a plus qu'à interroger celui-ci en inversant la marche pour qu'en émane, par expérience, un événement discriminant.

Décrivant la démarche cartésienne en physique, Hamou (2002, p. 133) relève :

« (...) dès lors que la physique devient la physique de ce monde, une physique concrète, les procédures inférentielles **changent de nature**. Elles deviennent **hypothético-déductives** ou **réductives** et s'appuient de manière plus ou moins massives sur des données d'expérience. »

Pour cette partie finale, mais pour elle seulement, Descartes reconnaît les efforts de Bacon, baron de Verulam :

« vous désirez savoir un moyen de faire des expériences utiles. A cela je n'ai **rien à dire après ce que Verulamius en a écrit** (...) »<sup>105</sup>

« **Nous nous complétons**, Verulamius et moi. Mes conseils serviront à étayer dans ses grandes lignes l'explication de l'univers ; ceux de Verulamius permettront de **préciser les détails** pour les expériences nécessaires. »<sup>106</sup>

Ainsi, pour Descartes comme pour Bacon, l'expérience peut servir à trancher entre diverses hypothèses, qui sont autant d'explications possibles.

Descartes va même plus loin à propos des expériences :

« (...) je vois aussi qu'elles sont telles, et en si grand nombre, que **ni mes mains ni mon revenu**, bien que j'en eusse mille fois plus que je n'en ai, ne sauraient suffire pour toutes ; en sorte que, selon que j'aurai désormais la commodité d'en faire plus ou moins, **j'avancerai aussi plus ou moins** en la connaissance de la nature » (1637, p. 101).

Il énonce donc que son avancée dans la connaissance de la nature *dépend* de la commodité de faire plus ou moins d'expériences. Et il lance, à leur sujet, une sorte d'appel à contribution :

« (...) j'obligerai tous ceux qui désirent en général le bien des hommes (...) tant à **me communiquer** celles qu'ils ont déjà faites, qu'à **m'aider en la recherche** de celles qui restent à faire. » (1637, p. 101-102).

<sup>105</sup> Lettre à Mersenne, 23 décembre 1630, in *Œuvres de Descartes*, G. Adam et P. Tannery, (1897-1910), I, p. 195.

<sup>106</sup> Lettre à Mersenne, in *Œuvres de Descartes*, G. Adam et P. Tannery, (1897-1910), I, p. 318.

Il réaffirme dix ans plus tard :

« (...) la plupart de celles [les vérités] qui restent à trouver **dépendent** de quelques **expériences** particulières qui (...) doivent être cherchées avec soin et dépense »<sup>107</sup>.

Ainsi se réfère-t-il dans le *Discours de la méthode* (1637, p. 87) aux expériences qui ont permis à “un médecin d’Angleterre” (Harvey, 1628) d’établir que le cours du sang “n’est autre chose qu’une circulation perpétuelle”.

Toutefois ces multiples expériences, nécessaires, ne sont guère aisées : quand il étudie la neige, il écrit, rêveur,

« (...) si toutes les **expériences dont j’ai besoin** pour le reste de ma Physique me pouvaient ainsi tomber des nues »<sup>108</sup>...

Non, il a besoin de secours en qualité, en quantité et en finances : « il faut aussi **des mains** pour les faire », mais lui ne se trouve pas très doué : « je n’en ai point qui y soient propres »<sup>109</sup> ; « mais j’ai **si peu de mains** »<sup>110</sup>.

Quand Richelieu meurt, Descartes songe à toutes les dépenses inutilement englouties dans le budget militaire plutôt qu’investies dans la recherche :

« (...) il faudrait que M. le Cardinal vous eût laissé deux ou trois des ses millions, **pour pouvoir faire toutes les expériences** qui seraient **nécessaires** pour découvrir la nature particulière de chaque corps ; et je ne doute point qu’on ne pût venir à des grandes connaissances qui seraient **bien plus utiles au public** que toutes les victoires qu’on peut gagner en faisant la guerre. »<sup>111</sup>

L’une des *Femmes savantes* de Molière, qui se réfère à Descartes, résume ainsi ce programme :

“Découvrir la nature en mille expériences” (1672, III, 2).

Le rapport entre hypothèses et expériences chez Descartes s’affirme dans l’un des sujets les plus débattus au XVII<sup>e</sup> siècle, sur lequel les opinions divergent : celui des graves et de la gravité, qui revêt une importance majeure dans l’histoire des méthodes et des discours sur les méthodes. Bacon et Descartes s’y rejoignent en suggérant la même expérience sur l’attraction<sup>112</sup>, plus tard réalisée par Hooke testant ses diverses idées -avant de les proposer à Newton, qui imposera sa loi méthodologique. Ce sujet est d’autant plus frappant pour nous que, depuis Newton, nous concevons l’attraction comme une évidence, ce qu’elle ne fut absolument pas pendant longtemps, y compris pour Newton lui-même.

C’est pourquoi Voltaire admire l’anticipation de Bacon concernant l’attraction :

« quelle sagacité dans Bacon de Verulam, de l’avoir **souçonnée** lorsque personne n’y pensait » (1764).

Duhem relate :

---

<sup>107</sup> Lettre-Préface de l’édition française des *Principes* (1647).

<sup>108</sup> Lettre à Chanut, 6 mars 1646, *Ibid.*, IV, p. 377.

<sup>109</sup> *Id.*

<sup>110</sup> Lettre à Huygens, février 1643, *Ibid.*, III, p. 617.

<sup>111</sup> Lettre à Mersenne, 4 janvier 1643, *Ibid.*, III, p. 610.

<sup>112</sup> Avec le poids du balancier d’une horloge dans une mine pour Bacon, celui d’une masse au bout d’une corde dans un puits pour Descartes.

« Vers l'an 1635, Jean de Beaugrand allait en tous lieux, annonçant qu'il avait découvert la loi selon laquelle le poids d'un corps varie avec l'éloignement du centre de la Terre. »<sup>113</sup>.

Mais il varie en *augmentant* avec cet éloignement, et le corps ne pèse plus rien au centre. Fermat, l'ami de Beaugrand, rejette en bloc cette loi, et en propose une autre. Étienne Pascal (le père de Blaise) et Roberval écrivent une lettre à Fermat sur ce sujet<sup>114</sup>, « modèle de discussion scientifique courtoise et précise » dit Duhem, dans laquelle ils évoquent « trois **causes possibles** de la pesanteur », desquelles « les **conséquences** sont fort différentes ».

Descartes, entrant dans le débat en 1638<sup>115</sup>, recense aussi “trois opinions” (pas tout à fait les mêmes), deux dans lesquelles la pesanteur étant absolue, intrinsèque, ne change pas avec la distance au centre de la Terre, et la troisième dans laquelle la Terre agit sur les corps en les attirant « ou en quelque autre façon ». Sa propre conception étant d'ailleurs « fort différente de ces trois ».

« La question proposée, dit-il, ne saurait être **déterminée** par les hommes qu'en tant qu'ils en peuvent faire quelque **expérience** ».

« L'expérience que l'on peut faire est qu'étant **au haut d'une tour**, au pied de laquelle il y ait un **puits fort profond**, on peut peser un plomb attaché à une longue corde, premièrement en le mettant avec toute sa corde dans l'un des plats de la balance, et après en y attachant seulement le bout de cette corde, et laissant pendre le poids jusques au fond du puits ; car s'il pèse fort notablement plus ou moins étant proche du centre de la terre qu'en étant éloigné, on l'apercevra par ce moyen. Mais, parce que la hauteur d'un puits et d'une tour est fort petite en comparaison du diamètre de la terre, et pour d'autres considérations que j'ometts, cette expérience ne pourra servir si la différence qui est entre un même poids, pesé à diverses hauteurs, n'est fort notable. »

Il mentionne alors des observations (hasardeuses : les cigognes voleraient moins bien près du sol, même par temps calme), et une autre expérience, dont il doute de la réalité :

« Et enfin **si l'expérience** que vous m'avez mandé vous-même avoir faite, et que quelques autres ont aussi écrite, **est véritable**, à savoir, que les balles des pièces d'artillerie tirées directement vers le zénith ne retombent point, on doit juger que la force du coup les portant fort haut, les éloigne si fort du centre de la terre que cela leur fait entièrement perdre leur pesanteur. »

Descartes avait déjà mis en cause cette expérience de Mersenne qui voudrait qu'une balle tirée en l'air ne retombe jamais<sup>116</sup> :

« Je vous remercie de l'expérience que vous avez fait faire avec une arquebuse, mais je ne la juge point suffisante pour en tirer quelque chose de certain, n'était qu'on la fit avec une grande pièce de batterie qui portât une balle de fer de trente ou quarante livres, car le fer ne se fond pas si aisément que le plomb, et une balle de cette grosseur serait **aisée à trouver en cas qu'elle tombât**. »

Il conseillait même :

« (...) afin de faire cette **expérience bien exacte**, il faudrait tellement planter la pièce qu'elle ne pût reculer que perpendiculairement de haut en bas ; et à cet effet il faudrait faire une fosse au-dessous d'elle, et la tenir suspendue en l'air entre deux anneaux ou cercles de fer par le moyen de quelques contrepoids assez pesants. »

S'il y a cependant conflit entre une expérience et une déduction rigoureuse, c'est pour lui *l'idée déduite* qui prime sur le fait. Tant pis pour la réalité, en quelque sorte. Cette assurance dans la force de ses déductions, tout comme la confiance relative dans le témoignage de l'expérience, sont des traits qu'il partage avec Galilée. Ainsi dit-il, à propos des règles qu'il édicte sur le choc des corps, interaction fondamentale dans son système :

<sup>113</sup> Duhem, P. (1906) *Les Origines de la statique*, tome 2, Hermann, chapitre XVI.

<sup>114</sup> Lettre du 16 août 1636, *in Œuvres complètes De Blaise Pascal*, Hachette, t. II, p. 381.

<sup>115</sup> À Mersenne, 13 juillet 1638, *in Œuvres de Descartes* par Victor Cousin, vol. 7, Levrault, 1824, p. 303-327.

<sup>116</sup> À Mersenne, 15 mars 1634, *in Œuvres de Descartes* par Victor Cousin, vol. 6, Levrault, 1824, p. 258.

« Et les démonstrations de tout ceci sont si certaines, qu'encore que l'expérience nous semblerait faire voir le contraire, nous serions néanmoins obligés d'ajouter plus de foi à notre raison qu'à nos sens. » (1644, p. 224).

Mais c'est parce l'expérience ne peut qu'être approximative : il faudrait des corps "parfaitement durs" et aucune influence externe, ce qui ne se rencontre pas dans la réalité. Il présente cependant à plusieurs reprises ses explications comme des suppositions :

« (...) je désire que ce que j'écrirai soit seulement pris **pour une hypothèse** »,  
« (...) tant s'en faut que je veuille que l'on croie toutes les choses que j'écrirai »,  
« (...) ce peu de **suppositions** me semble suffire pour m'en servir comme de causes ou de principes, dont je **déduirai** tous les effets qui paraissent en la nature » (1644, III, 44-47).

Sa correspondance confirme les appels à l'expérience de ses ouvrages, et montre que lorsqu'il estime qu'elle peut en effet être concluante, il s'en remet à elle :

« (...) et je serai bien aise de **voir par l'expérience** si j'aurai en cela **bien conjecturé** » ;  
« (...) ce n'est qu'une fausse opinion de Jésuite qui l'a **imaginée** sans en avoir fait **épreuve** » (à Huygens à propos de l'aimant)<sup>117</sup>.

De même demande-t-il les résultats obtenus par d'autres, comme Gassendi et Pascal, qu'il considère comme des mises à l'épreuve de ses déductions :

« je n'ai su cette observation [de Gassendi sur la pesanteur] qu'à moitié, et je voudrais voir **si elle s'accorde à mes spéculations** »<sup>118</sup>.

Son reproche à Mersenne est assez vif, de ne pas l'avoir informé de l'expérience de Torricelli (1643) qu'il n'apprend qu'en 1647 :

« Je m'étonne de ce que vous avez gardé quatre ans cette expérience, ainsi que le dit M. Pascal, sans que vous m'en ayez jamais rien mandé, ni que vous ayez commencé à le faire avant cet été, car, sitôt que vous m'en parlâtes, je jugeai qu'**elle était de conséquence** ; et qu'elle pourrait grandement servir à **vérifier ce que j'ai écrit** de physique. »<sup>119</sup>

On ne peut que noter ici l'extrême importance qu'il accorde à l'expérience, car même si, lorsqu'il écrit cette lettre, il sait déjà que le résultat lui en est favorable, il n'en déclare pas moins à Mersenne, au centre des communications et des échanges scientifiques de l'époque, quelle portée elle peut avoir à ses yeux. Et dans la même lettre il évoque une autre expérience dont il ne possède pas encore le résultat :

« (...) j'avais averti M. Pascal d'expérimenter si le vif-argent montait aussi haut lorsqu'on est **au-dessus d'une montagne** que lorsqu'on est tout au bas ; je ne sais s'il l'aura fait. »

En attendant,

« (...) afin que nous puissions aussi **savoir si** le changement des temps et des lieux n'y fait rien »,

il effectue lui-même des relevés :

« (...) j'ai un tuyau qui demeure attaché jour et nuit au même lieu pour faire ces observations ».

Mersenne est d'ailleurs invité à mettre la main à la pâte : il reçoit un papier gradué identique au sien, où noter si le temps est froid, chaud, s'il y a du vent et d'où il vient...

<sup>117</sup> Lettres du 24 mai et du 26 juin 1643, *Œuvres philosophiques* tome III, Garnier (1998), p. 25 et 41.

<sup>118</sup> À Huygens, lettre du 2 novembre 1643, *Id.* p. 51.

<sup>119</sup> À Mersenne, lettre du 13 décembre 1647, *Id.* p. 754.

« afin que nous puissions voir **si nos observations s'accorderont** »,

Enfin il lui demande de faire une expérience qu'il ne peut réaliser en Hollande où le soleil n'est pas assez chaud : « je voudrais aussi que vous essayassiez d'allumer du feu dans votre vide », en y suspendant du soufre, « et en y mettant le feu au travers du verre avec un miroir ou un verre ardent. »

Deux ans plus tard :

« je vous prie de m'apprendre le succès d'une expérience qu'on me dit que Monsieur Pascal avait faite ou fait faire sur les montagnes d'Auvergne ».

Ayant eu confirmation de ce succès, il exprime en retour sa satisfaction, d'autant que Pascal lui a envoyé la description de ses premières expériences sur le vide, vide qui n'existe pas pour Descartes pour qui tout est rempli d'une "matière subtile" :

« [Pascal] promettait, poursuit-il, de réfuter ma matière subtile, si vous le voyez, je serais bien aise qu'il sût que **j'attends encore cette réfutation**, et que je la recevrai en très bonne part, comme j'ai toujours reçu les objections qui m'ont été faites sans calomnie. »<sup>120</sup>

Comme on le voit, contrairement aux caricatures souvent données des deux grands hommes, l'apport de Bacon ne peut se réduire au "tout expérimental" des fourmis empiristes dont il tient à se démarquer, pas plus que celui de Descartes au "tout esprit" des araignées subtiles dont Newton et ses admirateurs incondtionnels prétendront dissiper les toiles.

---

<sup>120</sup> À Carcavi lettres du 11 juin et du 17 août 1649, *Id.* p. 930.

## 1.2.4. La troisième voie

Bacon a montré de loin la route de la vraie philosophie ;  
Galilée l'a non seulement montrée, mais il y a marché à grands pas.

David Hume, *Histoire d'Angleterre*.

### 1.2.4.1. Antécédences : déjà sur la voie du milieu

Bacon recourant aux hypothèses et Descartes aux expériences convergent vers une voie médiane lorsqu'ils dévient chacun de l'axe majeur de leur cheminement. Or cette voie du milieu n'est pas déserte : sans faire primer les considérations méthodologiques, mais loin d'en être dépourvus, Kepler et Galilée les y ont, en pratique, précédés.

Leurs réflexions sur les cheminements scientifiques n'ont pas eu le retentissement de celles de Bacon, Descartes et Newton, mais elles abondent, admirables, dans leurs écrits. Le *Dialogue* de Galilée (1632), par exemple, en fournit assez pour instruire (et amuser) des élèves de différents niveaux, le personnage de Simplicio présentant sur différents sujets des conceptions aristotéliennes partagées par nombre d'entre eux.

Bacon ne mentionne pas les travaux de Kepler (datant pourtant de 1596, 1609, 1619), et Descartes dit simplement qu'il a été son premier maître en optique. Quant à Galilée, chez qui le raisonnement et l'expérience coexistent sans se détruire, Descartes le juge trop empiriste (il "philosophe beaucoup mieux que le vulgaire", mais comme il n'a pas "considéré les premières causes de la nature", il a "bâti sans fondement")<sup>121</sup>, et Bacon l'épingle sur sa *théorie* des marées tout en reconnaissant la valeur de ses *observations* ("grâce à elles, on sait désormais...", 1620, II, 39 et II, 46).

La "ligne de partage des eaux" entre le monde médiéval et la science moderne, selon la métaphore d'Arthur Koestler<sup>122</sup>, a en effet été franchie, dès avant 1600, par ces deux jeunes professeurs de mathématiques. Tous deux se construisent une nouvelle vision du monde en se basant sur des modèles géométriques idéaux : Galilée, à 26 ans, envoie Aristote au piquet de la géométrie dont il aurait ignoré "les plus élémentaires principes" et avance une explication mathématique du mouvement dérivée d'Archimède (*De Motu*, 1590). Kepler, à 23 ans, est saisi par l'inspiration au tableau noir de son amphithéâtre à moitié désert, et imagine l'existence d'un ensemble d'énormes figures géométriques pythagoriciennes (cube, pyramide...) entre les planètes d'un univers héliocentrique (*Le secret du monde*, 1596).

Certes, ils se trompent, mais ont le panache de mettre eux-mêmes à jour leurs erreurs, l'un par l'expérimentation, l'autre par l'observation, et de rejeter leurs créations imaginaires pour les remplacer par d'autres plus conformes à la réalité, en insistant tous deux sur l'importance de la confrontation de leurs vues théoriques avec les données expérimentales.

Kepler, qui soumet sa vision mystique de l'harmonie du monde à l'épreuve des faits, prévient :

« si tout cela ne s'accorde pas, alors sans aucun doute tout le travail antérieur n'aura été qu'un plaisant divertissement ».

Il écrit en 1601 un traité dont le premier chapitre s'intitule *Ce qu'est l'hypothèse astronomique* : l'astronome ne doit pas se contenter d'analyser les observations, il lui faut élaborer des hypothèses

<sup>121</sup> À Mersenne, 10 mai 1698, *Œuvres philosophiques de Descartes*, Ed. Alquié, Garnier (1963-1973), t. II p. 300-302.

<sup>122</sup> *Les Somnambules*, Calman-Lévy, 1960, partie IV.

sensées qui doivent ensuite être contrôlées par des mesures<sup>123</sup>. Prendre le risque d'*anticiper* sur les faits, c'est un tournant majeur : il ne s'agit plus seulement de "sauver les phénomènes"<sup>124</sup>, de leur coller des explications *après coup*, comme on le fait depuis deux millénaires.

En 1604, incorrigibles, les voilà tous deux repartant de nouveau, de bon pied, en se fondant sur de nouvelles conceptions... encore erronées<sup>125</sup>, mais grâce à la démarche adoptée, fructueuses au bout du compte.

Cette année là, Kepler met aussi en pratique sa méthode quand il "s'attaque à Mars" (*sic*), avec la même fougue idéaliste et la même ténacité que *Don Quichotte* s'attaquant aux moulins sous la plume contemporaine de Cervantès (1605). Mais contraint d'accepter les faits et d'abandonner l'hypothèse d'une orbite circulaire divinement parfaite, il note :

« Les erreurs nous montrent le chemin de la vérité ».<sup>126</sup>

Kepler aime entraîner son lecteur dans son itinéraire épineux :

« Lecteur, (...) il faut que tu traverses **auparavant les mêmes broussailles que celles entre lesquelles je me suis faufilé** ».<sup>127</sup>

Il fait le récit de son épopée en 1609 : après avoir "nettoyé l'écurie de l'Astronomie", le voilà avec "une charretée de crottin" en guise d'orbite, un ovale incongru dont il n'a que faire, "un œuf" indigne de la création, d'où éclore tout de même les lois des mouvements planétaires.

Ainsi, non seulement Galilée et Kepler anticipent sur les faits avant de s'y soumettre, mais ils n'hésitent ni à s'accorder, dans leur correspondance<sup>128</sup>, sur un héliocentrisme précoce, ni à se détourner, le premier de la tradition aristotélicienne, le second de l'idée de la meilleure des créations divines possibles : la "déchirure de la tradition", qu'évoque Canguilhem (1968, p. 17) à propos de Descartes, est déjà bien entamée.

C'est également par la soumission de conjectures à l'épreuve d'expériences qu'en physiologie William Harvey relate sa découverte du trajet circulaire du sang dans le corps (1628). Avec plus de rigueur procédurale dans le récit mais avec moins de verve que les deux astronomes, « le premier des grands praticiens de la méthode expérimentale », comme l'appelle Jean Rostand<sup>129</sup>, mentionne systématiquement dans son ouvrage quelle hypothèse a été contrôlée par quelle expérience.

Après la mort de Galilée, ses deux assistants, Torricelli et Viviani, reprenant le problème de la limitation de l'aspiration de l'eau dans les pompes que leur maître n'a su résoudre : impossible de la faire monter de plus d'une dizaine de mètres. Autre exemple scientifiquement et épistémologiquement très significatif : les deux assistants de Galilée, travaillant ensemble après sa mort, vont invalider l'hypothèse de leur propre maître. Ce dernier pense en effet que la "corde d'eau" verticale finit par rompre quand son propre poids excède "la force du vide". Le Génois Baliani, qui avait soulevé le problème, doute de l'explication de l'illustre savant et le lui indique clairement dans une lettre de 1630 où il avance, avec mille précautions, l'hypothèse de l'effet du « poids de l'air que nous avons sur nos têtes »<sup>130</sup>. C'est cette hypothèse que Torricelli va

<sup>123</sup> *Apologie contre Ursus*, cité in Anna Maria Lombardi (2001), *Kepler*. Les génies de la science, Pour la Science p. 27.

<sup>124</sup> Duhem, P. (1908). *Σώζειν τὰ Φαινόμενα, essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*, Vrin 1994.

<sup>125</sup> Pour Galilée, vitesse de chute proportionnelle à l'espace parcouru et non au temps ; pour Kepler, orbites circulaires.

<sup>126</sup> Hon, G. (1987). "On Kepler's Awareness of the Problem of Experimental Error". *Annals of Science*, Vol. 44, n°6, Novembre 1987, p. 545-591.

<sup>127</sup> *Paralipomènes à Vitellion* (1604, IV, 2), *Astronomia pars Optica*, tr. Catherine Chevalley, Vrin, 1980.

<sup>128</sup> Lettre de Galilée à Kepler du 4 août 1597, et réponse de Kepler du 13 octobre de la même année.

<sup>129</sup> Préface de Leclercq, R. (1960). *Histoire et avenir de la méthode expérimentale*, Masson, p. 11.

<sup>130</sup> *Opere de Galileo Galilei* Socita editrice fiorentina (1852) t. 9, p. 210.

entreprendre de tester, en ayant l'idée de remplacer l'eau par du mercure, Viviani réalisant l'expérience au printemps 1644.

L'expérience italienne va susciter l'intérêt du jeune Pascal (1623-1662). Dépassant, dans une certaine mesure, Bacon et Descartes, Pascal discerne à la fois l'insuffisance des inductions, qui peuvent conclure en laissant des cas contraires de côté, et de déductions à partir d'hypothèses que ne viendraient pas sanctionner l'expérience. Ainsi, dans le premier cas, les anciens ont-ils souvent conclu trop vite :

« (...) tirant une conséquence de ce qu'ils voyaient à ce qu'ils ne voyaient pas, ils ont donné l'un et l'autre pour également véritable. »<sup>131</sup>

En effet :

« (...) pour le dire généralement, ce ne serait assez de l'avoir vu constamment en cent rencontres, ni en mille, ni en tout autre nombre, quelque grand qu'il soit ; puisque, s'il **restait un seul cas à examiner**, ce seul **suffirait pour empêcher** la définition générale »<sup>132</sup>.

L'induction, donc, est faillible.

Quant à la déduction à partir de ce qu'on invente, il faut qu'elle soit sanctionnée par l'expérience, qui peut, ou non, parvenir à établir la certitude, suivant le cas : c'est ce que Pascal va expliquer au révérend père Etienne Noël, maître réputé, ancien professeur de Descartes, qui lui a écrit ses objections en contestant l'obtention du vide.

Le jeune Pascal (24 ans), passé des mathématiques à la physique, a en effet publié ses *Nouvelles expériences touchant le vide* (1647) reproduisant et continuant les résultats de Torricelli : Noël, qui ne veut pas du vide, met à la place une mystérieuse "matière ignée", dont l'existence est en conformité avec les résultats.

La réponse de Pascal<sup>133</sup> est sidérante : il administre à son vénérable correspondant une leçon de méthode, annonçant « je me sens obligé de vous dire deux mots sur ce sujet »...

*Supposer* une cause possible, qui s'accorde avec les faits, ne la prouve pas :

« (...) pour faire qu'une hypothèse soit évidente, il **ne suffit pas que tous les phénomènes s'en ensuivent**, au lieu que, s'il s'ensuit quelque chose de **contraire** à un seul des phénomènes, cela **suffit** pour assurer de sa **fausseté**. »

Si l'on déduit d'une hypothèse des choses conformes à ce que l'on constate, cela ne la prouve pas, alors que si l'on déduit quelque chose de contraire à ce que l'on constate, elle est renversée : c'est, sans les termes modernes bien sûr, l'asymétrie entre corroboration et réfutation que Pascal expose ici.

« Par exemple, poursuit-il, si l'on trouve une pierre chaude sans savoir la cause de sa chaleur, celui-là serait-il tenu en avoir trouvé la véritable, qui raisonnerait de cette sorte : Présupposons que cette pierre ait été mise dans un grand feu, dont on l'ait retirée depuis peu de temps ; donc cette pierre doit être encore chaude : or elle est chaude ; par conséquent elle a été mise au feu ? »

On voit bien sur l'exemple donné que la conclusion est défectueuse si elle est affirmée, ne pouvant que rester hypothétique : c'est un exemple d'abduction. Pascal explique pourquoi on ne peut conclure avec certitude :

---

<sup>131</sup> *Œuvres complètes*, t. 2, Hachette, 1858, p. 299. (*Traité de la pesanteur de la masse de l'air*, 1651-53, publ. 1663).

<sup>132</sup> *Id.*, p. 334 (*Fragment d'un traité du vide*, 1651, publ. 1779).

<sup>133</sup> *Id.*, p. 184-189 (*Réponse de Pascal au P. Noël*, 29 octobre 1647).

« Il faudrait pour cela que le feu **fût l'unique cause** de sa chaleur ; mais comme elle peut procéder du soleil et de la friction, sa conséquence serait sans force. Car comme une même cause peut produire plusieurs effets différents, **un même effet peut être produit par plusieurs causes différentes.** »

La primauté malgré tout accordée à l'expérience est claire :

« Dans la physique les expériences ont **bien plus de force** pour persuader **que les raisonnements**, je ne doute pas qu'on ne désirât de voir les uns **confirmés** par les autres. »<sup>134</sup>

Ainsi Pascal met-il à l'épreuve l'hypothèse de Torricelli, contraire à l'opinion commune d'"horreur du vide" :

« (...) dès l'année 1647 nous fûmes avertis d'une très belle **pensée** qu'eut Torricelli touchant la cause de tous les effets qu'on a jusqu'à présent attribués à l'horreur du vide. Mais comme ce n'était qu'une **simple conjecture**, et dont on n'avait aucune preuve, pour en reconnaître ou la vérité ou la fausseté, je méditai dès lors une **expérience** que vous savez avoir été faite en 1648 par M. Périer au haut et au bas du Puy-de-Dôme »<sup>135</sup>.

Aussi résume-t-il :

« Est-ce que la nature abhorre plus le vide sur les montagnes que dans les vallons, quand il fait humide que quand il fait beau ? Ne le hait-elle pas également sur un clocher, dans un grenier et dans les cours ? Que tous les disciples d'Aristote assemblent tout ce qu'il y a de fort dans les écrits de leur maître et de ses commentateurs, pour rendre raison de ces choses par l'horreur du vide, s'ils le peuvent : sinon **qu'ils reconnaissent que les expériences sont les véritables maîtres qu'il faut suivre dans la physique** ; que celle qui a été faite sur les montagnes, a **renversé cette croyance** universelle du monde, que la nature abhorre le vide, et ouvert cette connaissance qui ne saurait plus jamais périr, que la nature n'a aucune horreur pour le vide, qu'elle ne fait aucune chose pour l'éviter, et que la pesanteur de la masse de l'air est la **véritable cause** de tous les effets qu'on avait jusqu'ici attribués à cette **cause imaginaire.** »<sup>136</sup>

Descartes prétend avoir suggéré à Pascal son expérience décisive, lors de leur rencontre en 1647. Pascal cependant trouvera son aîné trop spéculateur, appelant la philosophie cartésienne *le roman de la nature*, semblable à peu près à l'histoire de *Don Quichotte*.<sup>137</sup> Et l'on sait sa sentence sèche, « Descartes inutile et incertain », même si elle relève de motifs religieux plus que scientifiques. Il préfère les expériences contemporaines de Boyle, qu'il relate dans les *Nouvelles Expériences faites en Angleterre*<sup>138</sup>, mentionnant leur conformité avec les siennes et avec son interprétation.

Mais Pascal, en parlant de "raisonnements **confirmés**" et de "**véritable cause**", ne va-t-il pas au-delà de ses propres préceptes, quand il disait que de résultats conformes à l'hypothèse, on ne pouvait conclure à la vérité de celle-ci ? C'est qu'il y ajoute une condition, pour lui remplie dans ces cas : *il faut qu'il n'y ait pas d'autre explication possible*, qu'elle ait été montrée inopérante (comme l'horreur du vide) ou qu'on ne puisse en proposer.

Condition bien difficile à réaliser. Pascal le prétend pourtant :

Il tire du principe de la pesanteur de l'air diverses conséquences (tout l'air pesant presse la terre, et davantage dans les vallons qu'en montagne...), dont la dernière qu'il cite est qu'en gravissant une montagne avec un ballon à demi gonflé, « il devrait arriver qu'il serait plus enflé au haut de la montagne », et poursuit :

« Il y a une **liaison si nécessaire de ces conséquences avec leur principe, que l'un ne peut être vrai, sans que les autres le soient également** : et comme il est assuré que l'air qui s'étend depuis la terre jusqu'au haut de la sphère a de la pesanteur, tout ce que nous en avons conclu est également **véritable**. Mais quelque

<sup>134</sup> *Id.*, p. 272 (*Traité de la pesanteur de la masse de l'air*).

<sup>135</sup> *Id.*, p. 251 (*Lettre à M. De Ribeyre*, 12 juillet 1651).

<sup>136</sup> *Id.*, p. 301 (*Traité de la pesanteur de la masse de l'air*).

<sup>137</sup> Au témoignage du médecin Antoine Menjot, in *Opuscules posthumes*, Vol. 1, Amsterdam, 1697, p. 115.

<sup>138</sup> *Œuvres complètes*, tome 2, Hachette, 1858, p. 323.

certitude qu'on trouve en ces conclusions, il me semble qu'il n'y a personne qui, même en les recevant, ne souhaitât de voir **cette dernière conséquence confirmée par l'expérience**, parce qu'elle **enferme**, et toutes les autres, **et son principe** même ; car il est certain que si on voyait un ballon tel que nous l'avons figuré, s'enfler à mesure qu'on l'élève, il n'y aurait **aucun lieu de douter** que cette enflure ne vînt de ce que l'air du ballon était plus pressé en bas qu'en haut, **puisqu'il n'y a aucune autre chose qui pût causer qu'il s'enflât**, vu même qu'il fait plus froid sur les montagnes que dans les vallons ; et cette compression de l'air du ballon **ne pourrait avoir d'autre cause** que le poids de la masse de l'air ; car on l'a pris tel qu'il était au bas, et sans le comprimer, puisque même le ballon était flasque et à demi plein seulement ; et partant cela **prouverait absolument** que l'air est pesant ; que la masse de l'air est pesante ; qu'elle presse par son poids tous les corps qu'elle enferme ; qu'elle presse plus les lieux bas que les lieux hauts ; qu'elle se comprime elle-même par son poids ; que l'air est plus comprimé en bas qu'en haut. » (*Traité de la pesanteur de la masse de l'air*, chapitre I, *Œuvres* p. 270-272).

Néanmoins, Pascal relativisera l'accès à la certitude dans ses *Pensées*, parlant d'une "impuissance de prouver", malgré une idée de la vérité qui s'impose tout de même (fragment n° 273). Duhem commentera cette vision en l'approuvant, décrivant l'invincible conviction qui envahit un physicien, et qu'il est aussi impuissant à justifier qu'à repousser comme « une intuition où Pascal eût reconnu une de ces raisons du cœur "que la raison ne connaît pas" » (1906, p. 36).

Après ce que Pascal nomme "l'expérience décisive" du Puy-de-Dôme, réalisée par son beau-frère Florin Perier, ils s'intéressent ensemble, comme Descartes avant eux, à d'autres causes de variation du niveau de mercure que l'altitude, et entreprennent un relevé systématique des observations pour savoir à quoi les relier (température, pluie, vents...). Périer désire avoir des données provenant de lieux différents « afin de voir si on pouvait découvrir quelque chose en les confrontant les unes aux autres »<sup>139</sup> : pour cela, Descartes et Chanut lui envoient des relevés faits à Stockholm, et participent ainsi à une large collecte établissant des tables d'observations, en sorte que Pascal fait travailler Descartes selon la procédure de Bacon ! Le 8 décembre 1649, le baromètre est au plus haut, et « M. Descartes remarque qu'il faisait froid. » Un froid qui l'emportera deux mois plus tard... Poursuivant seul les mesures, d'autant que le serviteur de Descartes s'en était allé avec le *Mémoire* des observations, Chanut écrira à Périer qu'il pense que les vents sont déterminants, ajoutant, significativement :

« peut-être que les **expériences** suivantes détruiront cette première **conjecture** que j'ai »<sup>140</sup>.

Signalons que Pascal, après son enterrement en l'église Sainte-Geneviève-du-Mont (1662), y fut rejoint par son *Don Quichotte* de Descartes, qui vint reposer près de lui lorsque son corps fut ramené à Paris (1667), et qu'ils partagèrent ensemble les lieux jusqu'à la Révolution.

Pascal partage avec Galilée la réalisation d'un "coup" méthodologique magistral, qui montre le rôle contestataire de l'expérience par rapport à l'idée, et consistant à piéger un adversaire en lui faisant prédire le résultat d'une expérience, puis à le mettre en présence de l'expérience déjà réalisée à son insu.

« J'ai bien vu et observé : **faites mettre** l'autre miroir à côté du premier », demande le Simplicio de Galilée (1632, p. 178), pensant que la lumière réfléchi en sera accrue :

« (...) **il y est déjà**, réplique Salviati, on l'y a mis dès que vous avez commencé à regarder les détails, et vous ne vous en êtes pas aperçu. (...) **Qu'avez-vous à répondre à cette expérience ?** »

Pascal en 1646, dans la cour de la verrerie de Rouen, laisse d'abord son adversaire dire que l'expérience qu'il envisage est impossible, lui demande quand même quels résultats elle donnerait en théorie, puis lui révèle un mât étendu au sol avec des tubes attachés qui, une fois dressés,

<sup>139</sup> *Id.*, p. 319.

<sup>140</sup> Lettre du 28 mars 1650, *Id.* p. 322.

donnent un résultat opposé à celui qui vient d'être énoncé. C'est, pour reprendre une expression d'Isabelle Stengers (1995, p. 98) déjà à propos de Galilée, "faire parler" le phénomène pour "faire taire" les rivaux.

Harvey, Torricelli et Pascal, dont Descartes considère les résultats, matérialisent ainsi cette voie du milieu dans laquelle l'observation et l'expérience viennent sanctionner l'idée.

### 1.2.4.2. Convergences chez les continuateurs (1671-1703)

Bacon et Descartes demeurent les figures emblématiques de deux grandes voies méthodologiques, malgré les nuances et les convergences qu'une analyse plus détaillée a permis de relever. Ceux de leurs préceptes qu'ils ont le plus fortement clamés ont servi, après eux, à dépeindre à grands traits ces deux voies, et, ce faisant, à souvent les stéréotyper. Toutes deux font une place à l'expérience comme à la raison, mais l'insistance sur l'une a pu faire oublier l'autre : la voyant être reine, on la croit être tout.

L'évolution de ceux que l'on peut considérer comme les successeurs les plus directs de Bacon et de Descartes est instructive : d'un côté, les expérimentateurs Robert Boyle (1627-1691) et son assistant Robert Hooke (1635-1703) commencèrent leurs travaux sous l'influence de Bacon, bien que Boyle déclarait s'abstenir des lectures qui auraient pu le détourner de ce que lui enseignaient les expériences. De l'autre, le disciple scientifique le plus remarquable de Descartes est le physicien Jacques Rohault (1618-1672), proche ami de Molière, qui publiera en 1671 un *Traité de physique* au succès considérable.

#### Après Bacon : les deux Robert.

Hooke et Boyle firent leurs découvertes majeures grâce à la pompe à air, et Thomas Sprat, qui participa avec eux à la fondation de la *Royal Society*, fit paraître au moment de leur pleine gloire *History of the Royal Society* (1667) qui présente sur son frontispice à la fois leur instrument et le portrait de Bacon désigné par la mention *Artium Instigator*.

Sprat y décrit l'intérêt qu'il peut y avoir, pour des découvreurs, à partir dans les nuages :

« On ne peut pas douter que beaucoup de découvertes très importantes ont été faites **en partant de suppositions** qui ont été **ensuite reconnues fausses**. Et il arrive souvent aux philosophes ce qui arriva à Ch. Colomb, qui prit d'abord pour la terre ferme les nuages qui entouraient le continent. Mais **cette méprise fut heureuse**, car en voguant vers eux, il parvint à son but. C'est ainsi **qu'en poursuivant des causes fausses**, avec la résolution de ne pas abandonner la recherche, ils ont été conduits à la vérité elle-même. »<sup>141</sup>

Leibniz écrit :

« Le Lord Bacon a commencé à mettre l'art d'expérimenter en préceptes, et le Chevalier Boyle a eu un grand talent pour le pratiquer »<sup>142</sup>.

Robert Boyle, né l'année suivant la mort de Bacon, « s'en tint rigoureusement aux préceptes de Bacon », selon Cuvier (1841, p. 347). L'héritage baconien est plus net encore pour Robert Hooke, qui détaille un plan de recherche scientifique<sup>143</sup> dans lequel il faut procéder méthodiquement à des expériences et des collectes d'observations, de manière à "compiler une Histoire Naturelle" formant une base solide sur laquelle continuer "par réjection". Cet essai, dit Whewell, peut être considéré comme une tentative d'adaptation du *Novum Organum* (1840b, XII, XII, 6). Koyré voit d'ailleurs dans cette filiation la raison de leur échec en optique :

<sup>141</sup> Sprat, T. (1667). *History of the Royal Society*, Kessinger Publishing, 2003, p. 108-109.

<sup>142</sup> *Nouveaux Essais sur l'entendement humain* ([1704] 1764), *Œuvres philosophiques*, I, IV, XII, Alcan 1900, p. 419.

<sup>143</sup> *A General Scheme, or Idea of the Present State of Natural Philosophy*. (*In Posthumous Works*, Waller, 1705, p.1-70).

« (...) ce n'est pas par manque d'habileté expérimentale, mais par suite de l'insuffisance de leur philosophie de la science –empruntée à Bacon- que Boyle et Hooke ont échoué devant les problèmes de l'optique » (1966, p. 13).

À supposer qu'ils suivaient cette même philosophie dans leurs travaux les plus fameux, entrepris à Oxford entre 1657 et 1662 et qui les ont conduits à la loi des gaz parfaits (de Boyle), on pourrait tout autant célébrer la philosophie baconienne.

Boyle fut membre fondateur de la *Royal Society* (1660) et Hooke en devint le “curateur” d'expériences, premier savant professionnel de l'histoire (puisque rétribué par les cotisations des membres), devant présenter trois ou quatre expériences à chacune des réunions hebdomadaires de la Société, ce qu'il fera pendant 41 ans !

Robert Boyle conjugue l'apport de Bacon et l'influence de Descartes. Ceux-ci cherchaient, chacun à sa manière, à établir par un cheminement rigoureux des *certitudes* en sciences, distinctes des opinions faillibles rejetées hors du domaine de la connaissance. Boyle dissocie, dans le champ propre des sciences, l'assurance que l'on peut obtenir dans l'établissement expérimental des phénomènes (les questions de faits, “*matters of fact*”) de ce qui relève de leur interprétation, hypothèses qui sont dans le domaine du *probable* et vers lesquelles il faut se diriger avec prudence. De Bacon, il retient l'importance du recueil des faits par l'expérience, se refusant à partir de principes rationnels *a priori* (ce que lui reprocheront Hobbes et Spinoza). Mais il s'agit, à partir des faits collectés, d'élaborer des hypothèses, incertaines. La nature est, dit-il en paraphrasant Descartes, et sur un exemple que reprendra Einstein, comme une horloge : les mêmes mouvements d'aiguilles peuvent être produits par des mécanismes différents.

« (...) c'est la **raison** elle-même qui, d'après les informations de l'**expérience**, **corrige** les jugements qu'elle avait faits **au préalable** »<sup>144</sup>.

La valeur décisive de la preuve négative ne lui échappe pas :

« Un “millier d'expériences” ou d'observations faites pour confirmer une théorie **n'a pas la force d'une seule faite “pour prouver le contraire”** »<sup>145</sup>.

La pompe à air que lui construit Hooke en 1658-1659 fait le vide dans une sphère de verre où ont lieu des expériences visibles par chacun. Cette pompe coûteuse (elle vaut plus d'un an de salaire de Hooke), formidable instrument, va devenir « l'emblème de la philosophie naturelle expérimentale »<sup>146</sup>, le “cyclotron de son époque”<sup>147</sup>, la *Big Science* du 17<sup>ème</sup> siècle<sup>148</sup>, permettant d'opérer dans des conditions contrôlées complètement inédites (dans le vide, qui ne se rencontre pas naturellement sur Terre). Les expériences sont ainsi *élaborées*, dans un lieu désormais nommé *laboratory* (laboratoire), ancêtre de nos “labos”<sup>149</sup> ...

Elles sont faites devant témoins, répétées, décrites avec précision à l'attention de ceux qui n'ont pu être présents. Ce qui caractérise Boyle, qualifié de “père de la physique expérimentale” dans le Discours Préliminaire de l'*Encyclopédie*, c'est que, travaillant sur le vide, sujet philosophiquement sensible, il n'est ni un “vacuiste” essayant de prouver le vide, ni un “pléniste” cherchant à établir le contraire : il laisse ces questions métaphysiques de côté. Boyle et Hooke, qui font le vide dans leur bocal en verre, le font aussi, symboliquement, sur les questions qu'ils jugent indécidables.

<sup>144</sup> Cité in Sargent (1995), p. 127 et 145.

<sup>145</sup> *Id.*, p. 145.

<sup>146</sup> Shapin, S. (1996). *La révolution scientifique*, Flammarion, 1998, p. 121.

<sup>147</sup> Hall, A. R. (1963). *From Galileo to Newton, 1630-1720*, Collins, p. 254.

<sup>148</sup> Shapin, S. et Schaffer, S. (1985). *Leviathan and the Air-Pump*, Princeton Paperbacks, p. 38.

<sup>149</sup> Hankins, T.L. et Silverman, R.J. (1995). *Instruments and the Imagination*, Princeton University Press, p. 240.

Ils montrent que l'air a un rôle dans la combustion, la respiration, la propagation du son (mais pas de la lumière), le maintien du mercure dans un tube de Torricelli. En 1660, Boyle publie leurs résultats sous le titre *New experiments physico-mechanicall*, illustrant le fait que les explications des phénomènes sont recherchées selon des principes *mécaniques*. Il inaugure là divers essais où il livre ses réflexions sur la méthodologie scientifique, notamment sur le statut des hypothèses et le rôle des expériences :

« (...) nous sommes aisément conduits à des erreurs, dit-il, lorsqu'on ne prend pas en compte le fait que la plupart des effets peuvent provenir de **causes variées**, comme lorsqu'on se préoccupe uniquement de ce qui, dans notre expérience, semble se **conformer** à nos **hypothèses** ou **conjectures préconçues**. » (1660, p. 154).

Ils vérifient ensuite ce qu'ils nomment *Mr. Towneley's hypothesis*, l'hypothèse émise par Richard Towneley, lors d'une reproduction de l'expérience de Pascal entre le haut et le bas d'une colline, d'une relation inverse entre pression et volume d'un gaz. Dans la deuxième édition des *New experiments* (1662), Boyle dresse une "table de condensation de l'air" et une "table de raréfaction de l'air" : dans chacune de ces deux tables, les deux dernières colonnes indiquent d'une part les valeurs des résultats expérimentaux, d'autre part, en vis-à-vis,

« (...) ce que cette pression **devrait être selon l'hypothèse**, qui **suppose** que les pressions et les expansions sont en proportion réciproque ». Il ne constate que de faibles différences, qu'il attribue aux inexacitudes de mesure. Hooke publie une table du « pouvoir élastique de l'air en fonction de ses dimensions, calculé à la fois **expérimentalement** et **hypothétiquement** » (*both Experimentally and Hypothetically calculated*).

Hooke conclut :

« par ces expériences nous avons **confirmé l'hypothèse** de la proportion réciproque » (1665, *Observation LVIII*).

Les manuscrits de Boyle<sup>150</sup> contiennent des « notes sur une **bonne** et une **excellente hypothèse** » : la bonne hypothèse doit être intelligible, ne rien inclure ou supposer d'impossible, être consistante avec elle-même, expliquer les phénomènes, ne pas contredire d'autres phénomènes. Pour être *excellente*, il lui faut en outre être enracinée dans les faits, être la plus simple, celle qui explique le mieux les phénomènes, et enfin permettre de prédire des phénomènes futurs.

Robert Hooke, étonnant personnage, travaille sur les sujets les plus divers. Pompe à air et microscope : il a construit et il manie les deux grands instruments symbolisant l'*expérience contrôlée* et l'*observation précise* de la deuxième moitié du XVII<sup>e</sup> siècle. Découvreur de la rotation de Jupiter, il anticipe le ressort en spirale des montres ("inventeur des montres de poches" dit Cuvier (1841, p. 310)), la nature ondulatoire de la lumière et la loi de la gravitation... Il publie le premier livre d'observations microscopiques, *Micrographia* (1665), un best-seller à l'époque, car ce livre révélait grâce au microscope le monde de l'infiniment petit comme celui de Galilée l'avait fait grâce au télescope pour l'infiniment grand -ces deux scrutateurs de nouveaux mondes finissant d'ailleurs leur vie aveugles.

Il découvre chez divers végétaux comme dans le monde animal (dans une plume) de minuscules cavités qu'il nomme cellules (il hésite avec bulles ou cavernes, et nous pourrions avoir aujourd'hui non pas une biologie cellulaire, mais bulleuse ou caverneuse...). L'année suivante, en tant qu'architecte, il reconstruit Londres après le grand incendie de 1666. Puis, fondant pratiquement la géologie (Oldroyd, 1972), il s'intéresse aux séismes, interprète correctement l'origine des fossiles et pense que les espèces se transforment...

---

<sup>150</sup>*Selected Philosophical Papers of Robert Boyle*, Hackett, 1991, p. 119.

Ses querelles, apparemment justifiées, avec un membre plus jeune de la *Royal Society*, un certain Isaac Newton (1643-1727), seront lourdes de conséquences, nous le verrons, pour notre enseignement.

Sa *Micrographia* s'ouvre sur une adresse à la *Royal Society* qu'on peut qualifier d'historique. Hooke y rappelle les préceptes méthodologiques que s'est fixés la société savante, pour aussitôt s'excuser de les transgresser :

« Les règles que vous avez prescrites vous-mêmes (...) semblent les meilleures qui aient jamais été pratiquées jusqu'ici. Et particulièrement celle d'éviter le dogmatisme, ainsi que de n'épouser aucune **hypothèse** insuffisamment fondée et confirmée par des expériences. (...) En disant cela, je peux sembler **condamner mon propre cheminement** dans ce traité ».

Les règles, à n'en pas douter, sont baconiennes. Or qui va-t-il citer en premier ? Descartes, "incomparable", "ingénieur", "perspicace", l'excellent "Monsieur *Des Cartes*", dont il cite les *Météores* et les *Principes*. Mais il n'oublie bien sûr pas celui qu'il nomme "my lord Verulam", "le noble et savant Verulam".

Il prévient dans sa préface que si le lecteur attend de lui d'infaillibles *déductions* ou des *axiomes* certains, -termes qui reprennent exactement ce que promettent, respectivement, Descartes et Bacon- ce sont là des travaux, dit-il, "au-dessus de mes faibles moyens". Il ne prétend pas fournir de conclusions indiscutables ou une science irréfutable, à l'inverse de ce que fera Newton sept ans plus tard devant cette même *Society* (1672), et dit ne pas chercher le consentement implicite du lecteur, désirant qu'on ne s'en remette pas absolument à ses observations si on les trouve ultérieurement contredites par les expériences d'autres découvreurs impartiaux.

La *Micrographia* est loin de n'être qu'un recueil d'observation : elle fourmille de réflexions ingénieuses et de spéculations audacieuses.

Hooke, à partir de chaque observation, traite de sujets scientifiques fort variés, et soumet, dans son *Observation IX*, les hypothèses sur les couleurs du « très perspicace Des Cartes » à ce que « notre trois fois excellent Verulam nomme *Experimentum Crucis* » (ou encore *Instancia crucis*, comme il le reprend plus exactement encore de Bacon un peu plus loin). Cette question des couleurs, où Hooke teste les hypothèses cartésiennes par l'expérience baconienne, sera celle avec laquelle Newton fera son entrée dans le monde scientifique (partie 1.2.6.2.).

E.T. Drake remarque (1996, p.77) :

« Hooke reconnaissait l'utilité du principe de **multiples hypothèses** et tentait toujours d'**épuiser toutes les possibilités** dans la recherche d'un problème. »

En 1668, Hooke prononce devant la *Royal Society* un discours sur les tremblements de terre<sup>151</sup>, considéré comme l'un des textes majeurs de l'histoire de la géologie. Hooke y recense dans des tables les lieux où se produisent les séismes et ceux où ils n'ont pas lieu, entreprenant ensuite de procéder par réjections et exclusions, dans l'esprit baconien :

« La **dette constante de Hooke vis-à-vis de Bacon** est partout manifeste » (Oldroyd, 1972, p. 118).

À la suite de quoi il formule quatre hypothèses, montre que trois d'entre elles ne sont pas satisfaisantes et propose pour la quatrième un ingénieux moyen de contrôle. Hooke semble apprécier, probablement plus clairement que Bacon, estime Oldroyd (1986, p. 66), la nécessité des "sauts hypothétiques".

F. Ellenberger, éminent historien de la géologie, juge de même Hooke ainsi :

---

<sup>151</sup> *A Discourse of earthquakes, in Posthumous works*, Waller, 1705, p. 279-450.

« (...) l'un des plus grands esprits du XVII<sup>e</sup> siècle, (...) baconien déclaré, il met en œuvre, en l'explicitant, une méthodologie personnelle de haut niveau, **authentiquement scientifique**. » (1994, p. 82-92).

Dans ce *Discourse of Earthquakes* (1668) et les textes qui y font suite, publiés de manière posthume en 1705<sup>152</sup>, il délivre une réflexion dont la valeur épistémologique est reconnue par Oldroyd (1972), Ellenberger (1994) et Drake (1996, p. 80).

Son *Discours* commence par une brève discussion critique des méthodes baconiennes tels que certains membres de la *Royal Society* croient les avoir compris : pour lui, la collection mécanique des données ne suffit pas (Oldroyd, 1972, p. 111).

Mais Hooke adapte l'héritage baconien :

« Bientôt, il se détourne des tentatives d'utilisation de la "pure" induction baconienne vers ce qui peut être interprété comme **une version de la méthode "hypothético-déductive"**. » (Oldroyd, 1972, p. 113).

« Nous concluons donc, que **la méthodologie de Hooke était essentiellement baconienne**, excepté qu'il **insiste** ouvertement sur le fait que **des hypothèses** doivent être proposées » (*id.*, p. 121).

Oldroyd, après avoir noté l'opprobre moderne sur la méthodologie baconienne, "tenue pour totalement impraticable" (p. 119), termine son étude en ces termes :

« (...) il ne peut être mis en doute que l'approche par Hooke de la méthodologie de l'investigation scientifique a **beaucoup en commun avec ses descriptions actuelles**. Nous pouvons y reconnaître un exemple de ce qui peut être accompli lorsqu'un homme d'une sagacité plus qu'ordinaire tente de développer une version d'une méthodologie essentiellement baconienne. » (*id.*, p. 130).

Hooke, qui étudie les fossiles, en vient à une vision transformiste<sup>153</sup> et doit se battre contre l'entêtement de ses adversaires qui, dit-il, s'accrochent à leurs opinions préconçues, à leurs "idoles" selon le terme de "my Lord Verulam". Ellenberger note :

« Nous sommes en 1687 et 1688 (...). Il fait un **remarquable exposé épistémologique** sur la Méthode à mettre en œuvre dans l'étude de la Nature, texte encore à méditer ».

« Schématiquement, ses stades sont : 1) Collecter l'information (**faits et expériences**) — 2) Des propositions en ressortent, — 3) Formuler des **hypothèses** rendant compte des deux, — 4) En **déduire** les conséquences logiques, — 5) Les **tester** par la poursuite des observations et expériences, — 6) Éliminer en conséquence les hypothèses sauf une, — 7) Utiliser les données étayant celle-ci comme base de nouvelles investigations. »<sup>154</sup>

Il applique ses principes méthodologiques lorsqu'il traite du déplacement géographique des pôles, comme le relate Ellenberger :

« (...) la modification du climat, inférée des fossiles, conduit à proposer cette **hypothèse**. Une fois admise, **d'autres effets s'en déduiront nécessairement**. (...) Hooke affirme d'abord la **légitimité** de son hypothèse, qui ne se heurte à aucune impossibilité et s'accorde avec les données générales (...). Hooke formule donc un projet détaillé d'appareillage astronomique, permettant des mesures de latitudes extrêmement précises à poursuivre dans le futur. Tout cela est entièrement cohérent, et satisfait pleinement nos exigences d'autonomie et de rationalité : contrairement aux Théories de la Terre de l'époque, nul présumé extérieur ne grève la démarche. (...) Il s'est abstenu le plus possible dans ses Discours de parler du Déluge. Son sentiment est que les fossiles n'ont rien à voir avec cet événement. »

---

<sup>152</sup> *The Posthumous Works of Robert Hooke containing his Cutlerian lectures and other discourses read at the Meetings of the Illustrious Royal Society*, Richard Waller (ed.), Sam. Smith and Benj. Walford, 1705.

<sup>153</sup> Étudiée par Pavlov, A.P. (1928). « Robert Hooke, un évolutionniste oublié du XVII<sup>e</sup> siècle », *Palaeobiologica*, I, p. 203-210.

<sup>154</sup> Ellenberger, F. (1994). *Histoire de la Géologie*, tome 2, Tech. & Doc./Lavoisier, p. 90.

Il cherche même, pour vérifier le changement d'axe des pôles, à savoir quelle est aujourd'hui l'orientation des pyramides, et envisage d'observer, en architecte qu'il est aussi, les directions des axes de cathédrales de différentes époques<sup>155</sup> !

### **Hooke : l'architecte et le jardinier.**

*La voie de l'architecte* est justement l'une des deux méthodes qu'il décrit pour atteindre la connaissance, l'autre étant la *méthode du jardinier*, lors de *Lectures* effectuées entre décembre 1686 et janvier 1687 (Drake, 1996, p. 227). La première, "partant du plus haut", va des causes aux effets, voie difficile car nécessitant d'avoir un plan d'ensemble. La seconde, "plus appropriée pour l'enquête expérimentale", part d'une information solide sur les effets et s'élève graduellement vers les causes, comme le jardinier qui prépare le terrain, sème ses graines et soigne amoureusement la plante en croissance (*cherishes the growing Vegetable*), jusqu'à recueillir, à maturité, le fruit de son travail. Hooke a peut-être puisé ses images chez Comenius, le réformateur tchèque qui est un autre disciple de Bacon, que le Parlement anglais avait fait venir en 1641 pour la mise en œuvre de ses vues dans les écoles du royaume (avant que la guerre civile ne l'en chasse en 1642) : dans sa *Grande Didactique* (1632 en tchèque, traduction latine 1657), il compare souvent l'enseignant à un architecte, un jardinier ou encore un peintre.

Mais, dit Hooke, la croissance des jeunes plants est lente, et

« l'autre méthode est aussi d'une excellente et nécessaire utilité, et pourra très souvent **faciliter et hâter la marche** ».

Il donne divers exemples du travail d'un patient jardinier, où l'on reconnaît le baconien, auquel vient prêter main forte un architecte d'allure cartésienne, et dès lors :

« (...) une **hypothèse** étant **supposée**, les phénomènes seront *a priori* **prédits** ».

Sa méthode résulte donc d'une alliance entre les deux voies, les inductions à partir des faits collectés menant *plus ou moins* graduellement à des hypothèses aptes à être interrogées par d'autres expériences ou observations. Alors :

« (...) bien qu'il soit possible qu'on n'atteigne pas de preuve positive, **on peut en atteindre une négative** si puissante et indéniable que personne de sensé ne la refusera »<sup>156</sup>.

Il illustre immédiatement sa méthode par sa mise en pratique sur le problème de l'origine des fossiles, pour lequel il propose deux hypothèses et indique comment il les teste.

Hooke reprend et place *au cœur* de sa méthodologie *l'instance de la croix* de Bacon, outil qui n'était que marginal chez son prédécesseur. L'hypothèse est ainsi mise en valeur par les membres les plus éminents de la *Royal Society* que sont Robert Hooke et Robert Boyle.

### **Rohault : trois sortes d'expériences (1671).**

Du côté des cartésiens, c'est notamment Jacques Rohault (1618-1672) qui a repris le flambeau. Son *Traité de physique* (1671) connut un immense succès, et devait régner pendant fort longtemps comme livre de physique de référence, par exemple à Cambridge à l'époque de Newton.

<sup>155</sup> Gohau, G. (2003). *Naissance de la géologie historique*, Vuibert, p. 31.

<sup>156</sup> "sufficient to ground Conjectures upon, which may serve for making Hypotheses fit to be enquired into by the Analytick method, and thence to find out what other Experiments or Observations are necessary to be procured for the further progress (...). So that tho' possibly we may not be able to produce a Positive Proof, yet we may attain to that of a Negative, which in many cases is as cogent and undeniable, and none but a willful or senseless Person will refuse his assent unto it. I propounded then two Hypotheses for the solution of the phaenomena, observ'd in Petrified Bodies (...)" (Drake (1996), p. 227-228).

Loin de dédaigner les expériences, Rohault organisa chez lui, à partir de 1657, des séances publiques hebdomadaires d'expériences commentées, les "mercredis de Rohault".

« Ces conférences étaient suivies par tout ce qu'il y avait, à Paris, de plus distingué dans le clergé, la magistrature et la noblesse (...), les dames mêmes y tenaient le premier rang »<sup>157</sup>.

Rohault, dans la préface de son *Traité*, expose ce qu'il a "à redire" de la philosophie :

« Un (...) défaut que j'ai trouvé dans la conduite des Philosophes, est que quelques-uns veulent toujours raisonner, et **se fient tellement aux raisonnements (...) qu'ils ne veulent faire aucune expérience**. D'autres au contraire, ennuyés de ces grands raisonnements, dont la plupart sont fautifs, ou qui ne conduisent à rien, ont **cru qu'il fallait tout réduire en expérience, et ne raisonner de quoi que ce soit**. Or ces deux extrémités ont été également **contraires au progrès** de la Physique » (1671, préface).

On a assez reproché, et avec exagération dans les deux cas, la première attitude à Descartes et la seconde à Bacon.

Et même si « vouloir absolument rejeter le raisonnement pour ne faire que des expériences » est une extrémité "beaucoup plus préjudiciable", pour Rohault,

« il faut nécessairement **allier ces deux moyens** de connaissance, et **joindre ensemble le raisonnement avec l'expérience**. » (*id.*).

Il poursuit :

« Mais pour faire mieux connaître l'heureux effet de cette alliance, il faut remarquer qu'il y a **trois sortes d'expériences**. » (*id.*).

La première n'est qu'un simple usage des sens, par hasard. La seconde,

« (...) lorsque **de propos délibéré**, mais sans savoir ni prévoir ce qui pourra arriver, l'on **fait épreuve** de quelque chose, (...) retenant avec soin ce que l'on a vu réussir à chaque fois. » (*id.*).

C'est ce que Claude Bernard nommera l'expérience *pour voir*. Et la troisième :

« (...) celles **que le raisonnement prévient** [c'est-à-dire prévoit], et qui servent à **justifier ensuite s'il est faux, ou s'il est juste**. »

Cette troisième sorte d'expérience, dit Rohault, est la plus utile : il expose sa méthodologie en montrant qu'il s'agit d'un *contrôle* des idées, dans une phrase un peu alambiquée mais que l'on peut expliciter (ajouts [entre crochets]) :

« Ce qui arrive, lorsque après avoir considéré les effets ordinaires [**observations**] d'un certain sujet, et formé une certaine idée de sa nature [**hypothèse**], c'est-à-dire, de ce qui est en lui qui le rend capable de ces effets [**hypothèse causale**], nous venons par raisonnement à connaître que si ce que nous croyons de sa nature est véritable, il faut nécessairement [**déduction**] qu'en le disposant d'une certaine manière [**expérience**], il en arrive un nouvel effet [**résultat prévu**], auquel nous n'avions pas encore pensé [**avant ce raisonnement**] ; et que pour éprouver ce raisonnement, nous faisons sur ce sujet [**mise en œuvre**] ce que nous avons cru capable de lui faire produire cet effet [**mise en œuvre conforme au raisonnement déductif**]. Or il est très évident, que cette troisième sorte d'expérience est particulièrement utile aux Philosophes, parce qu'elle leur peut faire découvrir la vérité ou la fausseté des opinions qu'ils ont conçues [**conclusions sur les hypothèses**]. » (*id.*).

Ce texte de 1671 peut être considéré comme historique : non seulement il distingue nettement l'expérience commune, l'expérience *pour voir* et l'expérience de mise à l'épreuve, mais encore il donne, pour cette dernière, l'enchaînement cohérent qui en précise les conditions et en justifie l'usage.

---

<sup>157</sup> Selon Clerselier cité par Cousin, V. (1852) *Fragments de philosophie cartésienne*, Didier, p. 108.

Quant aux deux autres sortes, ajoute Rohault,

« (...) bien qu'elles ne soient pas si nobles, ou ne les doit pas néanmoins rejeter comme inutiles aux Physiciens : car outre qu'elles étendent toujours leurs connaissances ; elles servent aussi à leur **donner occasion de faire les premières conjectures** » (*id.*).

Rohault semble redevable aux médecins Empiriques grecs, dont nous avons salué le remarquable “trépied”, puisqu'ils distinguaient, eux aussi, outre les trois procédures de leur trépied, trois catégories d'expériences, fort comparables à celles de Rohault, et que l'article *Empirique (Secte)* de l'*Encyclopédie* présente ainsi :

« L'expérience, disaient-ils, est une connaissance fondée sur le témoignage des sens : ils distinguaient **trois sortes d'expériences**. La première et la plus simple, disaient-ils, est produite par le **pur hasard**, c'est un accident imprévu (...). La **seconde** espèce d'expériences est de celles qui se font **par essai**, comme il arrive lorsque quelqu'un ayant été mordu par un animal venimeux, applique sur la blessure la première herbe qu'il trouve. La troisième espèce d'expériences comprend celles que les *empiriques* appelaient *imitatoires*, ou dans lesquelles on répète dans l'espoir d'un pareil succès, ce que le hasard, l'instinct, ou l'essai, **ont indiqué**. » (Jaucourt, 1755).

Rohault n'en est pas moins admirable par l'intérêt qu'il manifeste pour l'expérience de contrôle, ainsi que l'estime Véronique le Ru (2001)<sup>158</sup> :

« Cette attention portée à l'expérience incite à concevoir l'œuvre de Rohault comme **un pont entre Descartes et les Lumières** ».

Parmi les philosophes des Lumières, c'est Diderot qui poussera le plus loin ses réflexions sur la méthode, dans le sens de Rohault.

Boyle (1660, 1662) et Hooke (1665, 1668, 1687), représentants, au moins en partie, de l'école baconienne, et Rohault (1671), chef de file de l'école cartésienne, se rejoignent ainsi dans la seconde moitié du XVII<sup>e</sup> siècle : les premiers, héritiers d'une philosophie *expérimentale*, en avançant sur les *hypothèses*, le dernier, représentant la philosophie *rationnelle*, en détaillant les rôles des *expériences*.

Christiaan Huygens (1690) rejoint ce groupe, lui qui fut, dans sa jeunesse, élève de Descartes en Hollande, et l'admira avant de s'en écarter :

« ici [en physique] **les Principes se vérifient par les conclusions** qu'on en tire (...). Il est possible toutefois d'y arriver à un degré de vraisemblance (...). Savoir lorsque les choses, qu'on a démontrées par ces Principes supposés, **se rapportent parfaitement aux phénomènes que l'expérience a fait remarquer** ; surtout quand il y en a grand nombre, et encore principalement quand on se forme et prévoit des phénomènes nouveaux, qui doivent **suivre des hypothèses** qu'on emploie, et qu'on trouve qu'en cela **l'effet répond à notre attente**. » (1690)<sup>159</sup>.

La voie du milieu semble donc clairement tracée.

Mais elle ne sera pas empruntée si aisément : l'engouement pour le système cartésien va bientôt en détourner, avant que la déviation mise en place par Newton dans un sens opposé en éloigne davantage encore.

---

<sup>158</sup> « Descartes après Descartes », in René Descartes, 1596-1650, *Les Cahiers de Science et Vie*, décembre 2001.

<sup>159</sup> *Traité de la lumière*, éd. Van der Aa, préface.

## 1.2.5. Descartes : le premier Système du Monde depuis Aristote

Descartes, ce mortel dont on eût fait un dieu chez les païens  
La Fontaine, 1679

Molière (1622-1673), à la fin de sa vie, rend, en deux alexandrins, la faveur dont jouit alors le système cartésien :

TRISSOTIN - Descartes pour l'aimant donne fort dans mon sens.

ARMANDE - J'aime ses tourbillons...

PHILAMINTE - Moi ses monde tombants.

*Les Femmes savantes* (1672), acte III scène II.

Bacon et Descartes ont fourni des préceptes qui forcent l'admiration de leurs contemporains et de nombre de leurs successeurs. Mais si Bacon, avec son appel à l'expérience et à la collaboration entre savants, est à l'origine de la *Royal Society* et de la tradition expérimentale anglo-saxonne, il se limite à être, comme le dit A. Koyré (1966, p. 167),

« le héraut, le *buccinator* de la science moderne ».

Et tel se proclame-t-il lui-même, sonnait le clairon sans entrer dans la bataille -même s'il mourut en expérimentant sur la nature du froid :

"I only sound the clarion, but I enter not into the battle".<sup>160</sup>

Tandis que Descartes jouit bientôt d'un immense prestige, non seulement en tant que savant, mais parce qu'il fournit un système explicatif universel qui permet de se passer, enfin, de celui d'Aristote -ce qui lui vaut d'ailleurs tout d'abord une résistance farouche de la Sorbonne conservatrice.

Il est le premier, depuis Aristote, à offrir un tout cohérent, un *nouveau paradigme* (selon le terme de Thomas Kuhn) : il ne se contente pas d'une critique ponctuelle et érudite sans rien proposer en échange, mais élabore un système simple, complet, qui semble avoir tout l'aspect de l'évidence, dérivé des mathématiques où il excelle et où les phénomènes naturels s'expliquent par des interactions compréhensibles et des comparaisons familières, balle de jeu de paume pour la réfraction, fronde et tourbillons des rivières pour la gravitation, mécanismes d'horlogerie, pompes et tuyaux comme ceux des machines hydrauliques qui, "aux jardins de nos Rois", bougent et peuvent même "prononcer quelques paroles" (*Traité de l'homme*, 1648)<sup>161</sup>. Il donne des éclaircissements aussi accessibles qu'ingénieux, tels la rotation de petits éléments pourvus d'un pas de vis expliquant l'aimant... et les taches solaires (1644, III, §90-94).

L'aspect *mécaniste* de la philosophie cartésienne aura un succès très étendu : tous les phénomènes naturels peuvent s'expliquer en termes de collision entre particules, l'univers est plein et tout y est machine et engrenages. Le tout, se substituant avantageusement aux qualités occultes cachées dans les corps et aux obscurités scolastiques, exercent une séduction qui se répand vite.

Ces analogies mécaniques cartésiennes se retrouvent jusque sous la plume de Jacques Monod en 1970 :

« la cellule est bien une *machine* »,

« son fonctionnement d'horlogerie microscopique (...) est foncièrement cartésien » (p. 145).

<sup>160</sup> Cité par R.W. Church (1884). *Bacon*, BiblioBazaar, LLC, 2007, p. 146.

<sup>161</sup> *Œuvres*, Adam-Tannery, vol. XI, p. 130.

Arrêtons-nous un instant en 1672 : Rohault disparaît alors que son *Traité de Physique* de, paru l'année précédente, connaît un succès exceptionnel et est déjà réédité, son ami Molière rend compte dans *Les Femmes savantes* (puis dans *Le Malade imaginaire*, 1673) de l'engouement du XVII<sup>e</sup> siècle pour ce monde nouveau où Descartes semble être celui qui règne et légifère ; Newton, fort peu connu, envoie à la *Royal Society* une lettre exposant sa théorie des couleurs, qui marque le début de sa carrière scientifique.

Ce sont bien sûr les œuvres de Molière qui ont le plus d'audience. Les femmes du monde se pâment sur les tourbillons célestes avec lesquels Descartes explique le bal des planètes, elles se ravissent de ses "mondes tombants", comètes féeriques dont il détient le secret. La "nouvelle philosophie" cartésienne est à la mode ; on se rit d'Aristote et de ceux qui ressemblent au jeune Diafoirus :

« il s'attache aveuglément aux opinions de nos anciens, et que jamais il n'a voulu comprendre ni écouter les **raisons** et les **expériences** des prétendues découvertes de notre siècle touchant la circulation du sang et autres opinions de même farine. » (*Le Malade imaginaire*, II, 5).

Les "mondes tombants" dont on parle dans les salons avaient déjà ébranlé, avec les observations à l'œil nu de Tycho Brahe, les sphères célestes transparentes de l'ancien modèle aristotélicien, et les découvertes spectaculaires de Galilée à la lunette vont davantage encore le remettre en cause : les cieux ne paraissent plus si incorruptibles qu'on les imaginait. Les rugosités de la surface lunaire révélées par Galilée rivalisant d'imperfection avec les orbites non circulaires de Kepler.

Voltaire rend un vibrant hommage au rôle joué par Descartes :

« Il **détruit les chimères absurdes** dont on infatuait la jeunesse **depuis deux mille ans** ; il **apprend aux hommes** de son temps à **raisonner**, et à se servir contre lui-même de ses armes. (...) **Descartes donna la vue aux aveugles** (...). **La route qu'il ouvrit** est, depuis lui, devenue immense » (1734, XIV).

Émilie du Châtelet, traductrice de Newton, tient à en instruire son fils :

« **Descartes parut dans cette nuit profonde** comme un astre qui venait éclairer l'univers (...). Et s'il s'est trompé sur quelques points de physique, **c'est qu'il était homme** » (*Institutions de physique*, 1740).

Un autre jeune homme, Christiaan Huygens, rappelle en ces termes son exaltation pour l'apport de celui qui fut l'ami de son père :

« Ce qui a **fort plu** dans le commencement quand cette philosophie a commencé de paraître, c'est qu'**on entendait** ce que disait M. des Cartes, au lieu que les autres philosophes nous donnaient des paroles qui ne faisaient rien comprendre (...). Il a **rejeté** plus universellement que personne **cet impertinent fatras**. Mais ce qui a surtout recommandé sa philosophie, c'est qu'il n'en est pas demeuré à donner du dégoût pour l'ancienne, mais qu'il a osé substituer **des causes qu'on peut comprendre** de tout ce qu'il y a dans la nature. »<sup>162</sup>

Un siècle après sa mort, le *Discours Préliminaire* de l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert (1751) lui rend un hommage éclatant : avec lui partout, y lit-on, brillait le génie inventeur. On ne pouvait alors imaginer mieux que ses tourbillons, qui rendaient compte de la gravitation par la force centrifuge :

« je ne crains point d'avancer que cette explication de la pesanteur est **une des plus belles et des plus ingénieuses hypothèses** que la Philosophie ait jamais imaginées. **Descartes a osé du moins** montrer aux bons esprits à secouer le joug de la scholastique, de l'opinion, de l'autorité, en un mot **des préjugés et de la barbarie** ; et par **cette révolte** dont nous recueillons aujourd'hui les fruits, la Philosophie a reçu de lui un service, plus difficile peut-être à rendre que tous ceux qu'elle doit à ses illustres successeurs. »

---

<sup>162</sup> Huygens, C. (1693). *Sur la vie de M. Des Cartes par Baillet*, in *Oeuvres complètes*, Soc. Holl. des sc., (1888), p. 403-406.

Il prend alors une allure de mousquetaire :

« On peut le regarder comme **un chef de conjurés**, qui a eu le courage de s'élever le premier contre une puissance despotique et arbitraire, et qui en préparant une **révolution éclatante**, a jeté les fondements d'un gouvernement plus juste et plus heureux qu'il n'a pu voir établi. S'il a fini par **croire tout expliquer**, il a du moins **commencé par douter de tout** ; et **les armes** dont nous nous servons pour le combattre **ne lui en appartiennent pas moins**, parce que nous les tournons contre lui. »

Condorcet, en 1793, le dépeint également en révolutionnaire, brisant bientôt les chaînes de l'esprit :

« Il dit aux hommes de **secouer le joug de l'autorité**, de ne plus reconnaître que celle qui serait avouée par leur **raison** ; et il fut obéi, parce qu'il subjuguait par sa **hardiesse**, qu'il entraînait par son **enthousiasme**. L'esprit humain ne fut pas libre encore, mais il sut qu'il était formé pour l'être. Ceux qui osèrent s'opiniâtrer à lui conserver ses chaînes, ou essayer de lui en donner de nouvelles, furent forcés de lui prouver qu'il devait les garder ou les recevoir, et dès lors on put prévoir qu'elles seraient bientôt brisées. » (1793, VIII).

L'ambition explicative de Descartes s'étend à tout : il prétend même pouvoir bientôt parvenir à trouver la cause des emplacements des étoiles dans le ciel<sup>163</sup> –tandis que Kepler, contemplant avant lui les mêmes points nocturnes, restait perplexe devant cette « poignée de grains jetée à l'aventure » (1596, p. 66).

Mais bientôt ce bel édifice se lézarde. La réaction contre Descartes a d'abord pris la forme d'un débat à propos des objections, qu'il a lui-même sollicitées, à ses *Méditations métaphysiques* (1641). Descartes doute de l'existence de toute réalité et récuse le témoignage des sens, tandis que Gassendi soutient, contre lui, et avant Locke (1690), que les sens corporels sont bien la source de nos connaissances.

Lorsque meurt Descartes (1650), un jeune anglais parvient à l'âge de raison : Isaac Newton (1643-1727), qui, sur un autre front, détruira son système de physique (1687).

## 1.2.6. La déviation newtonienne

### 1.2.6.1. Le choc Descartes-Newton

Les divergences entre Descartes et Newton sont relatées, à la mort de ce dernier, par Fontenelle (1727), cartésien critique (« Il faut admirer toujours Descartes, et le suivre quelquefois »), et par Voltaire (1728), présent à l'enterrement de Newton et introducteur de son système en France (*Éléments de la philosophie de Newton*, 1738), après s'être instruit sur sa physique auprès de sa compagne Émilie du Châtelet.

Fontenelle envisage leurs méthodologies :

« Les deux grands hommes qui se trouvent dans une si grande opposition ont eu de grands rapports. Tous deux ont été des génies du premier ordre, nés pour dominer sur les autres esprits, et pour fonder des empires. (...) Mais l'un, prenant un vol hardi, a voulu **se placer à la source de tout**, se rendre maître des premiers principes par quelques idées claires et fondamentales, pour n'avoir plus qu'à **descendre** aux phénomènes de la Nature comme à des conséquences nécessaires. L'autre, plus timide ou plus modeste, a commencé sa marche en s'appuyant sur les phénomènes pour **remonter** aux principes inconnus » (*Éloge de Newton*, 1727).

Voltaire compare les systèmes :

---

<sup>163</sup> À Mersenne, 10 mai 1632, AT I, 250-251.

« Un Français qui arrive à Londres trouve les choses bien changées en philosophie comme dans tout le reste. Il a laissé le monde plein, il le trouve vide. A Paris on voit l'univers composé de tourbillons de matière subtile ; à Londres on ne voit rien de cela. (...) Chez nos cartésiens tout se fait par une impulsion qu'on ne comprend guère ; chez M. Newton c'est par une attraction dont on ne connaît pas mieux la cause. (...) La lumière, pour un cartésien, existe dans l'air ; pour un newtonien, elle vient du Soleil en six minutes et demie. Votre chimie fait toutes ses opérations avec des acides (...) ; l'attraction domine jusque dans la chimie anglaise. (...) Voilà de furieuses contrariétés. » (XIV<sup>e</sup> lettre philosophique, 1728).

Le *Discours préliminaire de l'Encyclopédie*, après l'hommage rendu à Descartes, consacre le succès newtonien :

« Newton, à qui la route avait été préparée par Huygens, parut enfin, et donna à la Philosophie une forme qu'elle semble devoir conserver. Ce grand génie vit qu'il était temps de **bannir de la Physique les conjectures et les hypothèses vagues**, ou du moins de ne les donner **que pour ce qu'elles valaient**, et que cette Science devait être uniquement soumise aux expériences et à la Géométrie. (...) En enrichissant la philosophie par une grande quantité de biens réels, il a mérité sans doute toute sa reconnaissance ; mais il a peut-être plus fait pour elle en lui apprenant à être sage, et à **contenir** dans de justes bornes cette espèce d'**audace** que les circonstances avaient forcé Descartes à lui donner. (...) **Newton avait déjà renversé la physique cartésienne, et les tourbillons étaient détruits avant que nous songeassions à les adopter**. Nous avons été **aussi longtemps à les soutenir qu'à les recevoir**. Il ne faut qu'ouvrir nos livres, pour voir avec surprise qu'il n'y a pas encore vingt ans qu'on a commencé en France à renoncer au cartésianisme. Respectons toujours Descartes ; mais abandonnons sans peine des opinions qu'il eût combattues lui-même un siècle plus tard. » (D'Alembert, 1751).

Bannir les hypothèses, contenir l'audace : voilà qui caractérise la position méthodologique de Newton, que ses condamnations des hypothèses ont rendue célèbre.

**Les sentences de Newton : *sine fictis hypothesis* (1706), *hypotheses non fingo* (1713).**

Son *Optique*, parue en anglais en 1704, s'ouvre sur cette phrase, dans laquelle il commence par dire ce qu'il ne fera pas :

“My Design in this Book is **not to explain** the properties of Light **by Hypotheses**, but to propose and **prove** them **by Reason and Experiments**”.

Dans son édition latine (et donc internationale) de 1706, il ajoute son avis sur ce que devait être « l'affaire principale de la philosophie naturelle » (question 28). Dans ses propres termes :

« Ex phaenomeni **sine fictis hypothesis** arguamus, et ab effectis ratiocinatione (...) ad causas ».

Une traduction anglaise faite de son vivant (1717) traduit “To argue from Phaenomena **without feigning Hypotheses**”, Marat propose en français (1787) :

« Les philosophes modernes (...) ont **imaginé des hypothèses pour tout expliquer mécaniquement**. Mais le grand but qu'on doit se proposer dans l'étude de la Nature, c'est de raisonner sur les phénomènes **sans le secours d'aucune hypothèse, de déduire les causes des effets** »<sup>164</sup>.

En 1713, Newton insère dans la seconde édition des *Principes* sa plus fameuse phrase, toujours en latin : ***hypotheses non fingo***, « je ne fais point d'hypothèses », traduit Voltaire (1738, III, XIV).

“Formule devenue extrêmement célèbre”, dit A. Koyré (1957, p. 274), qui propose plutôt de traduire, conformément au terme employé dans l'*Optique* : “je ne *feins* pas d'hypothèse”, feindre, qui implique la fausseté, n'ayant pas le même sens qu'imaginer ou formuler. Mais on peut voir aussi que ce terme reprend directement celui qu'utilise fréquemment Descartes dans ses *Principes* (1644), par exemple « Feignons donc que cette Terre... » : “*Fingamus* itaque Terram...” (IV, §2).

<sup>164</sup> *Optique*, question 28, trad. J.-P. Marat, Leroy, 1787, p. 228.

Le sens en est explicité à un autre endroit :

« nous pouvons **feindre à plaisir** [*effingere*] plusieurs idées de choses qui peut-être n'ont jamais été et qui ne seront peut-être jamais, (...), [idées] **que nous feignons** [*effinximus*] **quand bon nous semble**, ou qui sont **possibles**, encore que l'existence ne soit pas nécessairement comprise en leur nature. » (1644, I, §16).

La visée de Newton, signalent différents auteurs, est anticartésienne. Elle est surtout anti-hypothèses : *non fingo* contre *fingamus*.

Newton, après cette formule, poursuit en ne laissant échapper *aucune sorte* d'hypothèse :

« Tout ce qui n'est pas déduit des phénomènes **doit être appelé hypothèse** et les **hypothèses**, qu'elles soient métaphysiques, physiques, se rapportant aux qualités occultes ou mécaniques, **n'ont pas de place en philosophie expérimentale**. En cette philosophie, les propositions sont **déduites des phénomènes** et rendues générales par **induction**. » (1713, traduction Émilie du Châtelet, 1759, p. 179).

Cette hantise des hypothèses remonte à ses premiers travaux sur la lumière qu'il fit connaître en 1672, l'année même, on l'a vu, où celles de Descartes tournent la tête des *Femmes savantes*.

### 1.2.6.2. La querelle des hypothèses

Newton affirme, dans la lettre qu'il adresse au secrétaire de la *Royal Society* (1672)<sup>165</sup>, démontrer que les couleurs sont inhérentes à la lumière et ne sont pas dues, comme on l'admettait jusque là (Descartes, Hooke), à son affaiblissement. C'est dans les échanges vifs qui ont suivi que l'on voit évoluer la position de Newton concernant les hypothèses, qui finira par se cristalliser dans son *hypotheses non fingo* lourd de conséquences méthodologiques et pédagogiques. L'analyse des textes permet de bien en discerner les enjeux.

Newton commence :

« Au début de l'année 1666, je me procurai un prisme de verre pour réaliser la célèbre expérience des couleurs ».

Il dit avoir trouvé le spectacle des taches colorées plaisant, mais bientôt,

« je fus surpris de les voir de forme *oblongue*, alors que, selon les lois établies de la réfraction, je m'attendais à ce qu'elles soient *circulaires*. »

Une observation se trouve donc ici en contradiction avec une théorie préexistante. Diverses idées, concernant l'épaisseur du verre traversé, la taille de l'orifice laissant passer la lumière, la position du prisme, ou des irrégularités du verre, amènent Newton à entreprendre différents essais ("to try this"), qui sont sans effet. Il se demande alors si ces résultats ne s'expliquent pas par le fait que les rayons, après avoir traversé le prisme, se déplacent en lignes courbes, trajectoire qu'il a observée sur des balles de tennis frappées obliquement :

"I had often seen a Tennis ball, struck with an oblique Racket, describe such a curve line".

Une analogie directement issue de la *Dioptrique* de Descartes (1637) :

---

<sup>165</sup> "A Letter of Mr. Isaac Newton (...) containing his New Theory about Light and Colors", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, No. 80 (19 Feb. 1672), p. 3075-3087. Lettre traduite dans *La conceptualisation newtonienne des phénomènes de la couleur*, Michel Blay, Vrin 1983.

« ce que ceux qui jouent à la paume éprouvent assez, lorsque (...) ils la touchent en biaisant de leur raquette, ce qu'ils nomment, ce me semble, couper ».

Cela le conduit à décrire la lumière comme pouvant être constituée de petits corps globulaires frappant obliquement le plan de réfraction et repartant en tournoyant. Cette nouvelle hypothèse ne résiste cependant pas non plus à l'examen :

“this plausible ground of **suspicion**, when I came to examine it, I could observe no such curvity in them”.

Newton écrit alors, en termes typiquement baconiens, que l'*exclusion graduelle* de ces différentes *suspitions* finit par le conduire à l'*expérience cruciale* :

“The gradual removal of these suspitions, at length led me to the *Experimentum Crucis*”.

Le terme de Bacon est *Instancia crucis* (1620, II, 36, voir partie 1.2.3.3.), déjà repris par Hooke en 1665 sous cette forme ainsi qu'avec la variante *Experimentum Crucis* (partie 1.2.4.2.), utilisée ici par Newton (1672). Ce dernier procède en effet, comme le préconisait Bacon, par exclusion, les diverses possibilités envisagées correspondant aux théories avancées par les autres auteurs, que les expériences éliminent une à une. Ainsi, la conception classique faisant résulter les couleurs d'un mélange de lumière et d'obscurité, obscurité provenant ici des bords de l'orifice, est testée en modifiant le diamètre de celui-ci, sans effet. C'est alors au tour de l'*experimentum crucis* d'établir la théorie de Newton qui, restant seule en lice, atteint pour lui la certitude et qu'il affirme “déduite des phénomènes” (au sens, comme nous l'avons vu, de *s'ensuivant nécessairement*), alors que la conception de couleurs constituant la lumière plutôt que provenant de son altération n'est *pas* une déduction forcée de son expérience cruciale.

Une analyse plus détaillée de cette première présentation d'un travail scientifique par Newton montre qu'il s'agit d'une reconstruction, d'une mise en ordre de bataille, destinée à la fois à se conformer aux directives baconiennes de la *Royal Society* et à persuader le lecteur. Dans ses notes de laboratoire intitulées *Of colours*<sup>166</sup>, Newton rapporte non pas une, mais 47 expériences avec un prisme. Pour Raftopoulos (1999), ces notes témoignent de la formation des idées de Newton, avec un passage des expériences à la théorie qui n'est pas aussi direct qu'il voudrait nous le faire croire. Celle sur laquelle il choisit de s'appuyer en 1672 représente, pour Kuhn (1958), une idéalisation qui “réclame fortement l'interprétation que Newton en fournit”.

Il s'agit, analyse M. Blay (2006), d'une présentation arrangée de ses travaux antérieurs,

« refonte dans un style d'inspiration très baconien qui aidera fortement à **créer l'image d'un Newton** dont les acquis semblent résulter de la **saisie d'un pur fait d'expérience** comme s'il lisait directement les secrets de la nature. Ainsi se trouve **introduite par Newton lui-même**, pour donner artificiellement et d'une façon un peu rhétorique un fondement absolu **empirique** à ses travaux, **la première esquisse d'un Newton positiviste**. »

Les expériences d'optique et d'alchimie coexistent dans les carnets de notes de Newton, et Newman (2008) a montré l'influence probable des pratiques alchimiques de décomposition-recomposition sur la conception de la lumière comme entité composite, la resynthèse de la lumière blanche à partir des couleurs étant présentée dans le même manuscrit original que la resynthèse alchimique de certains composés :

« on peut ainsi supposer que, avec ses expériences sur le prisme, Newton ne faisait lui-même que projeter la vieille conception alchimique d'analyse et de synthèse sur l'étude de la nature de la lumière. » (2008, p. 37).

---

<sup>166</sup> 1665-1666, *Portsmouth Collection* Add. MS. 3975, Cambridge University Library, <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/texts/viewtext.php?id=NATP00004&mode=normalized>

Shapiro (1984) a de son côté souligné le désir initial de Newton de parvenir en physique à une certitude aussi grande qu'en mathématiques, lorsqu'il notait :

« bien que les couleurs appartiennent à la physique, leur science **doit** néanmoins **être considéré comme mathématique**. » (1984, p. 439)

Les raisonnements mathématiques doivent s'étendre, et la certitude avec eux, jusqu'à la philosophie naturelle :

« Avec l'aide de **géomètres philosophes** et de **philosophes géomètres**, au lieu de conjectures et de probabilités qui sont arborées presque partout, nous parviendrons finalement à une science naturelle soutenue par **l'évidence la plus haute** ». (*Optical lectures*, 1669, publiées en 1728, in Shapiro, 1984, p. 439).

Les "deux sources méthodologiques de la science newtonienne" (Hamou, 2002, p.139), la tradition mathématique et l'épistémologie baconienne, apparaissent dans cette tentative pour faire passer la seconde sous la coupe de la première. L'induction par élimination, reprise de Bacon, devenant une sorte de soustraction rigoureuse, ne laissant subsister qu'un résultat certain, comme dicté par les phénomènes.

« L'induction bien menée doit permettre en effet d'établir non seulement des propositions générales sur les phénomènes mais aussi dans le meilleur des cas une connaissance de leur cause ou "nature", et cela particulièrement lorsqu'on est capable d'exhiber une instance décisive, qui permettra d'élire positivement une telle nature et d'écarter toutes les autres. C'est très clairement à une telle remontée **inductive** vers la cause que **prétend** Newton lorsqu'il exhibe son célèbre *experimentum crucis*. » (Hamou, 2002, p.145).

La plupart des interprètes récents de Newton, ajoute Hamou, estiment cependant :

« (...) l'« expérience cruciale » ne pouvait avoir la portée réaliste que lui prête Newton que sous la présupposition latente d'une **hypothèse** corpusculaire, et donc d'un **régime épistémologique hypothético-déductif** et non strictement **inductif** » (2002, p. 1034).

Pour Raftopoulos (1999), la méthode de Newton se distingue cependant de la méthode hypothético-déductive en ce qu'il ne lui suffit pas qu'une hypothèse soit explicative, encore faut-il qu'elle soit *dérivée des expériences*, ainsi que le stipulent les préceptes méthodologiques exposés dans son *Optique* (1704).

C'est sa prétention à la certitude qui va causer le premier choc entre Newton et ses objecteurs, sur le sujet des hypothèses. Davantage encore que Pascal, issu lui aussi du domaine des mathématiques mais qui concède son "incertitude à prouver" (partie 1.1.3.3.), Newton veut démontrer sans réplique.

Les résultats de l'expérience cruciale, dans laquelle une seconde réfraction ne parvient pas à modifier la couleur d'un rayon, conduisent Newton à affirmer :

« les couleurs ne sont pas des qualifications de la lumière dérivées de réfractions ou de réflexions sur les corps naturels (comme on le croit en général), mais des propriétés originelles et innées différentes suivant les rayons » (1672).

On ne peut plus mettre en doute, "peut-être" dit-il, que la lumière est un "corps". Il ne faut pas, ajoute-t-il, alors même qu'il vient de le faire, « mêler des **conjectures** avec des **certitudes** ». Newton cependant s'est aventuré trop loin en privilégiant une interprétation corpusculaire plutôt qu'ondulatoire de la nature de la lumière.

**Première confrontation avec Hooke.**

Or c'est Robert Hooke, l'expérimentateur de la *Royal Society*, qui soutient avec Huygens l'idée de la lumière comme pulsation, qui est chargé d'examiner la lettre de Newton. Hooke dit, dans une critique aiguisée (15 février 1672), qu'il a déjà obtenu les mêmes résultats par des centaines d'essais, mais que l'*hypothèse* corpusculaire de Newton ne le convainc pas :

« les mêmes phénomènes s'expliquent **par mon hypothèse, aussi bien que par la sienne**, (...) et je vais montrer qu'une **autre hypothèse**, différente à la fois de la sienne et de la mienne, peut faire la même chose. »<sup>167</sup>

Et même deux ou trois autres, ajoute-t-il plus loin. Huygens, lui aussi, demande les arguments de Newton pour appuyer l'hypothèse corpusculaire contre l'hypothèse ondulatoire.

Newton répond qu'on lui prescrit des règles sans comprendre comment il procède, qu'on lui attribue une hypothèse qui n'est pas sienne et qu'on nie certains faits sans les avoir examinés expérimentalement. Sur le plan théorique, où il est le plus faible, il tente de concilier l'hypothèse ondulatoire à sa théorie des couleurs, qualifiant ainsi la théorie de Hooke :

« non seulement insuffisante, mais sous certains aspects inintelligible »<sup>168</sup>.

Huygens écrit à Oldenburg (secrétaire de la *Royal Society*), à l'attention de Newton :

« Pour ce qui est de sa **nouvelle hypothèse** des couleurs dont vous souhaitez savoir mon sentiment, j'avoue que jusqu'ici elle me paraît très vraisemblable, et l'*experimentum crucis* (si je l'entends bien, car il est écrit un peu obscurément) **la confirme beaucoup**. Mais sur ce qu'il dit de l'aberration des rayons à travers des verres convexes je ne suis pas de son avis. Car je trouvai en lisant son écrit que cette aberration **suivant son principe** devrait être double de ce qu'il la fait, savoir 1/25 de l'ouverture du verre, ce à quoi pourtant **l'expérience semble répugner**. »<sup>169</sup>

Là où tout n'est, pour Newton, que certitude, Huygens porte un autre regard sur la démarche réalisée, n'y voyant qu'une hypothèse assujettie à une confirmation expérimentale, qui échoue en partie.

Newton se contentera de répondre au grand Huygens sur certains détails de calculs.

Il sait qu'il a commis une erreur en reliant sa théorie des couleurs à une hypothèse particulière sur la nature de la lumière, corpusculaire plutôt qu'ondulatoire, et, qui plus est, dans le domaine de savants de la carrure de Hooke et de Huygens. Le tout, sans le moindre élément décisif.

Il tente de se retrancher derrière l'affirmation qu'il n'a fait que décrire les phénomènes, sans vouloir considérer aucune hypothèse sur leur cause. Mais Hooke et Huygens continuent à critiquer la théorie du jeune homme en s'en prenant à l'hypothèse corpusculaire qu'il a trop précipitamment soutenue, conduisant Newton à répéter qu'il a décrit les choses *telles qu'elles sont* mais qu'il ne faisait pas d'hypothèse.

Pour tenter de s'extirper du mauvais pas où il s'est fourré, il adresse un courrier précisant sa méthodologie au secrétaire de la *Royal Society* (8 juillet 1672, *A serie of Quere's*) :

« La **vraie méthode**, vous le savez, pour s'enquérir des propriétés des choses, c'est de **les déduire des expériences**. Et je vous ai dit que la théorie que j'ai proposée m'est venue, non pas en inférant, c'est ainsi et ce n'est pas autrement, c'est-à-dire, non en la déduisant seulement de la réfutation des suppositions contraires, mais **en la dérivant d'expériences** d'où elle se conclut positivement et directement. »<sup>170</sup>

<sup>167</sup> Birch, T. (1757). *The History of the Royal Society of London*, vol. 3, p. 10-15.

<sup>168</sup> Westfall, R. S. (1980). *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*. Cambridge University Press, p. 247.

<sup>169</sup> Lettre du 1er juillet 1672, in *Œuvres complètes de Christiaan Huygens*, Sté holl. des sciences, VII, 1897, p. 185.

<sup>170</sup> *Philosophical Transactions of the Royal Society*, No. 85 (15 July 1672), p. 5004-5007.

L'expérience, donc, ne montre pas autre chose que ce qu'il dit, sans même considérer des suppositions.

### **Newton : la lettre avec 46 fois "hypothèse"...**

Cependant, L'orgueil de Newton est atteint. Sur la défensive, il répond aux objections de Hooke par une nouvelle lettre<sup>171</sup>, dans laquelle le mot hypothèse (ou hypothétique ou supposition) revient *46 fois en dix pages* !

« L'hypothèse qui **m'est attribuée** »...  
« ceci, semble-t-il, est **pris pour** mon hypothèse »...

Il reconnaît avoir affirmé la nature corpusculaire de la lumière, mais d'une manière non absolue, "comme l'indique le terme *peut-être*", juste comme une conséquence très plausible.

« Mais je savais que les propriétés que j'ai déclaré être celles de la lumière, pouvaient dans une certaine mesure être expliquées non seulement par celle-ci, mais par beaucoup d'autres hypothèses mécaniques »,

doit-il avouer, toute aigreur rentrée.

Et il ajoute un verdict sur ces hypothèses, qui désormais va donner le ton à toute sa ligne de conduite ultérieure :

"And therefore I chose to **decline them all**".

Et donc, j'ai choisi de les décliner toutes.

Il parlera de la lumière en termes généraux, sans plus spéculer sur sa nature.

Wetsfall (1980, p. 242) raconte que le jésuite parisien Ignace Pardiès, dans un commentaire avisé des travaux de Newton, eut le malheur de commencer en se référant, croyant bien faire, à "la très ingénieuse *hypothèse*" de Newton. Ce dernier prit la mouche :

« Je suis content », écrit-il, manifestement furibond, « que le Révérend Père nomme ma théorie une **hypothèse** si elle n'a pas encore été démontrée à sa satisfaction. Mais (...) elle ne semble contenir rien d'autre que certaines **propriétés** de la lumière qui, maintenant qu'elles sont découvertes, ne sont pas difficiles à **prouver**, et que, **si je ne les savais vraies**, je préférerais rejeter en tant que spéculation vaine et vide **plutôt que les reconnaître comme mon hypothèse**. »

Newton avait ainsi débuté sa carrière par des affirmations nouvelles et fondamentales sur la nature de la lumière et l'origine des couleurs, et on lui renvoie qu'il ne s'agit là que d'hypothèses, et que d'autres peuvent expliquer les mêmes faits : s'il ne nie certes pas que d'autres *puissent* le faire, lui, armé de l'ancrage baconien dans les faits allié à la démonstration mathématique, pense avancer invinciblement en "géomètre philosophe" qui *déduit des phénomènes* ce qu'il révèle au monde. Mais le monde physique est plus complexe que le monde mathématique.

Les critiques de Pardiès, Hooke et Huygens continuant, Newton demande même de ne plus être membre de la *Royal Society* (1673) !

Le secrétaire parvient à l'en dissuader, mais Newton se retire tout de même du débat public et déclare à plusieurs reprises ne plus vouloir s'engager dans une publication scientifique. Et

---

<sup>171</sup> *Id.*, No. 88 (18 November 1672), p. 5084-5103.

cependant, en 1675, pressé par les critiques, il envoie à la *Royal Society* un essai nommé... *An Hypothesis explaining the Properties of Light* !<sup>172</sup>

Il rappelle qu'il était déterminé à ne jamais écrire d'hypothèse sur la lumière et les couleurs, mais apparemment, dit-il, on me comprend mieux quand j'illustre mon discours par une hypothèse : j'avance donc celle-ci, mais *je ne l'assume pas davantage qu'une autre*, bien que pour éviter les circonvolutions et mieux la présenter j'en parlerai parfois *comme si je l'assumais et la proposais pour être crue*. Dans cette nouvelle hypothèse, la lumière est composée de corpuscules de formes diverses, qui font vibrer un "éther" ténu qui emplit l'espace.

Et tant qu'à "ne pas assumer" d'hypothèse, il en profite :

« Dans son essai de 1675, Newton applique l'hypothèse de l'éther non seulement aux phénomènes optiques mais aussi à la physiologie de la perception et aux phénomènes **chimiques, électriques et magnétiques**. Il se demande même si "l'attraction gravitationnelle de la Terre" ne pourrait pas résulter de la "condensation d'une autre forme de gaz éthéré". Il **spécule** donc sur une interprétation **mécaniste** de la **gravitation**. » (Guicciadrini, 2003, p. 29).

Newton n'est pas encore connu pour ses écrits sur la gravitation, autre source de conflit avec Hooke dans le futur. Mais sur la lumière, ce dernier s'emporte après la lecture à la *Royal Society* de l'essai de 1675 : pour lui, l'essentiel provient de sa *Micrographia* (1665), que Mr. Newton a seulement poussé plus avant sur certains points !<sup>173</sup>

Newton réplique en disant à Oldenburg qu'il va examiner ça :

« je dois d'abord, pour voir ce qui est de lui, en chasser tout ce qu'il a emprunté à Des Cartes et à d'autres »<sup>174</sup>.

Newton, de plus, demeure incorrigible dans sa volonté d'énoncer des vérités : Mamiani (2000), dans un ouvrage consacré aux controverses scientifiques, voit Newton répondre à Hooke avec "une ironie doublée de sarcasme". Sur le plan méthodologique,

« Newton affirme qu'il ne **fait pas d'hypothèses** sur la substantialité de la lumière. Hooke répond que, s'il en est ainsi, il n'a plus rien à dire. La controverse peut s'achever. Cependant, Newton ajoute que la substantialité de la lumière n'est **pas une hypothèse, mais un fait**, et que les hypothèses doivent être **bannies** de la science. **La controverse reprend.** »<sup>175</sup>

Les lettres étant envoyées au secrétaire de la *Royal Society* pour y être lues en séance et Hooke le soupçonnant d'envenimer le débat, il écrivit directement à Newton, reconnaissant que celui-ci était allé plus loin que lui-même dans ses jeunes années, et que s'il avait pu poursuivre, cela aurait été "avec une habilité bien inférieure à la vôtre" (1676)<sup>176</sup>. Newton répondit sur le même ton conciliant, donnant de ses prédécesseurs, Descartes puis Hooke, une image devenue célèbre :

« Ce que fit **Descartes** était un grand pas en avant. **Vous** y avez ajouté beaucoup, de plusieurs manières (...). Si j'ai vu plus loin c'est **en me tenant sur les épaules de géants**. »<sup>177</sup>

Cette reconnaissance correspond donc à une trêve.

---

<sup>172</sup> Birch, T. (1757). *The History of the Royal Society of London*, vol. 3, p. 247-269.

<sup>173</sup> *Id.*, p. 269.

<sup>174</sup> *Id.*, p. 278-305.

<sup>175</sup> Mamiani, M. (2000). "The structure of a Scientific Controversy. Hooke versus Newton about Colours". In Machamer, P. K., Pera, M. & Ballas, A. (2000). *Scientific Controversies. Philosophical and Historical*, Oxford University Press, p. 149.

<sup>176</sup> Brewster, D. (1855). *Memoirs of the Life, Writings, and Discoveries of Sir Isaac Newton*, T. Constable and Co, p. 140-141.

<sup>177</sup> *Id.*, p. 141-143.

## Les hypothèses de Hooke.

Mais ce ne sera qu'un répit. En 1679-1680 Hooke, devenu secrétaire de la *Royal Society*, reprend avec Newton une correspondance amicale, lui demandant son avis sur "une hypothèse personnelle" concernant la gravitation. Ce sujet préoccupe Hooke depuis longtemps : enchaînant hypothèses et expériences, il a comparé des poids à différentes altitudes, du fond de puits au toit de Westminster Abbey, réalisant ainsi l'expérience cruciale décrite à la fois par Bacon (1620, II, 36), et par Descartes (1638, voir partie 1.2.3.3.). Il n'obtient pas de différence significative, mais n'est pas surpris quand Richer, à Cayenne, constate que son horloge retarde à l'équateur par rapport à Paris (1672), ce que le jeune Halley (22 ans) remarque aussi à Sainte-Hélène par rapport à Londres, et retarde plus encore en haut d'une montagne que sur la plage (1678) : Hooke lui indique qu'il lui apporte la preuve que la gravité décroît avec l'altitude<sup>178</sup>. Il se demande si la gravitation n'est pas une sorte de magnétisme, comme le supposait Kepler, ou bien une onde, comme pour la lumière, et explique qu'une onde peut entraîner un rapprochement comme lorsqu'on cogne le manche d'un marteau retourné pour mieux en assujettir le métal ! (Chapman 2005, p. 201-202). Il parvient ainsi, par analogie avec la lumière, à l'hypothèse d'une loi en  $1/r^2$  pour les "ondes de gravité" également. Hooke se montre aussi habile concepteur d'hypothèses qu'expérimentateur.

Ses diverses hypothèses sur la gravitation sont originales par rapport à celles de Descartes, généralement admises, que celui-ci a décrit, à l'aide de l'image d'une fronde (1644, III, §57-61) : un astre occupe le centre d'un tourbillon qui *repousse* ce qui l'entoure en tournant. Le titre du §60 résume cette idée :

« Que toute la matière des cieux tend ainsi à **s'éloigner de certains centres** » (Descartes, 1644).

Une formulation qui conduit Huygens à nommer *centrifuge* la force d'éloignement décrite par son ancien maître. Une planète autour d'un astre ne s'échappe cependant pas : elle est retenue dans une sorte de gradient de taille et d'agitation des parties du ciel, demeurant avec celles « qui lui sont égales en force » (III, §140).

Hooke ne voit pas les choses ainsi : le premier, il définit correctement la combinaison de forces qu'il nomme *inflexion*, sans faire appel à une force centrifuge. Sa communication à la *Royal Society* porte en titre :

« **L'inflexion** d'un mouvement direct en une courbe par l'effet d'un principe **attractif** »  
("the Inflexion of a direct Motion into a Curve by a Supervening Attractive Principle")<sup>179</sup>.

Nous sommes le 23 mai 1666. Il y dit s'être souvent interrogé sur la manière dont les planètes peuvent, dans le système de Copernic, tourner autour du Soleil sans les orbites solides des Anciens ni sans lui être relié par aucune corde visible, et sans non plus se mouvoir en ligne droite, comme doivent le faire tous les corps qui n'ont reçu qu'une seule impulsion. Si elles ne vont pas droit, dit-il, c'est qu'il doit y avoir une autre cause, en plus de leur première impulsion, qui courbe leur trajectoire.

Il avance alors deux hypothèses : l'une, de nature cartésienne (et, pour longtemps, newtonienne), d'un espace plein dans lequel varie la densité, et l'autre, « une propriété attractive du corps placé au centre », celle qui, comme l'indique le titre de sa communication, a sa préférence.

C'est donc pour Hooke une force *attractive* qui empêche l'astre sur son orbite, au sens propre, de "prendre la tangente".

---

<sup>178</sup> Maury, 1990, p. 86 et 120 ; Chapman, 2005, p. 201.

<sup>179</sup> *Royal Society* ms. no. RBO.RBC.2.242, cité in Drake, 1996, p. 77.

Mais Newton, qui prétendra par la suite avoir justement découvert de la loi de l'attraction dès 1666, son regard allant d'une pomme à la Lune, déclare, dans son article de 1675, que les planètes demeurent éloignées du Soleil,

« par **quelque principe secret** d'insociabilité dans les **éthers** de leurs **tourbillons** ».

Principe semblable à celui qui préside à la non-miscibilité de l'huile et de l'eau. Il est en plein dans les tourbillons spéculatifs cartésiens, et n'explique absolument pas la gravitation à l'aide de l'idée d'attraction, sur laquelle Hooke lui demandera son avis en 1679.

Pour Newton, c'est la condensation de l'éther (1675), ou un gradient dans sa texture (1679) qui retient les planètes, adaptations de l'idée de Descartes, et cette vision générale est toujours, en 1680, celle de son interprétation de la comète qui paraît cette année-là (Kollerstrom, 1999).

Pourtant, le 24 novembre 1679, Hooke lui a demandé ce qu'il pensait de son "hypothèse ou opinion", ainsi présentée :

« ce serait une grande faveur si vous acceptiez (...) de me faire connaître vos pensées sur [l'hypothèse] de la **composition des mouvements** célestes des planètes en un mouvement direct selon la tangente et un mouvement attractif vers le corps central »<sup>180</sup> :

"For my own part I shall take it as a great favour if you shall please to communicate by Letter your objections against **any hypothesis or opinion of mine**. And particularly if you will let me know your thoughts of that of **compounding the celestial motions** of the planetts of a **direct motion by the tangent & an attractive motion towards the centrall body**."

Le 6 janvier 1680, il ajoute une seconde hypothèse : cette force doit être inversement proportionnelle au carré de la distance :

"But my supposition is that the **Attraction** always is in a **duplicate proportion to the Distance from the Center Reciprocall**"<sup>181</sup>

La première hypothèse modifie radicalement la manière qu'a Newton d'envisager le mouvement orbital. Adoptant cette nouvelle vision, il cessera de parler d'une force centrifuge émanant du corps central, lui attribuant une force inverse qu'il nomme *centripète*.

I. Bernard Cohen, professeur émérite d'histoire des sciences à Harvard, spécialiste et traducteur de Newton, commente :

« **L'analyse de Hooke** contient **la clé** du problème des mouvements célestes. Elle fut **un élément capital** pour l'élaboration de la mécanique céleste tel que Newton l'exposa dans ses *Principia* » (1960, p. 243).

Westfall (1980, p. 390) parle à ce propos de sa "profonde conversion de 1679-80". Elle est même plus tardive pour N. Guicciadrini :

« Newton a appris des *Principes de la Philosophie de Descartes* qu'un corps en mouvement circulaire, par exemple un caillou dans une fronde, est soumis à deux tendances (forces) : l'une consistant à se déplacer le long de la tangente et l'autre à "s'échapper du centre". C'est **seulement dans les années 1680** que Newton, **probablement à la suite d'une suggestion de Hooke**, réfutera la théorie cartésienne du mouvement circulaire. » (2003 p. 30).

---

<sup>180</sup> *The Correspondence of Isaac Newton*, vol. II, 1676–1687, H.W. Turnbull (ed.), Cambridge University Press, 1960, p. 297.

<sup>181</sup> *Id.*, p. 309.

Newton passe, en quelque sorte, de l'épaule du premier géant qu'il a désigné (Descartes) à celle du second (Hooke).

Hooke s'est adressé au mathématicien Newton parce qu'il sait que celui-ci est capable, s'il adopte ses hypothèses, de déterminer par le calcul si elles conduisent bien aux lois orbitales de Kepler : de l'hypothèse d'une force attractive agissant selon l'inverse du carré de la distance, peut-on démontrer qu'il s'ensuit que l'orbite d'une planète est, comme on le sait depuis Kepler, une ellipse ? Mais Newton, se déclarant éloigné de ces questions, n'a pas poursuivi la correspondance.

En janvier 1684, le problème du lien entre force et trajectoire reste entier, et Hooke le soumet au jeune astronome revenu de l'équateur, et qui s'intéresse aux comètes : Halley. Se joignant à eux, le mathématicien et architecte Christopher Wren promet à Hooke et Halley une récompense de 40 shillings à celui qui parviendra dans les deux mois à résoudre le problème<sup>182</sup>. Tous deux échouent, mais le problème tourmente suffisamment Halley pour qu'en août il aille le soumettre à Newton. Or, Newton détient la solution. Et Halley le pousse à la publier (ce qui aboutira, en 1687, à ses *Principia*). Mais il ne voudra jamais admettre qu'il s'est servi, pour la trouver, de l'hypothèse de la loi de l'inverse carré que Hooke lui a fournie : lorsque celui-ci estime devoir être cité pour son antériorité, sans nier la démonstration mathématique faite par Newton, le refus de ce dernier est catégorique<sup>183</sup>. "Je le savais déjà", dit-il en substance, "je ne m'en suis pas servi", "cette loi se trouve dans le paragraphe de l'une de mes lettres envoyée au secrétaire de la *Royal Society* (Oldenburg, à l'époque) pour qu'il la transmette à Huygens", en 1673.

### La lettre mystérieuse.

Bien plus tard, on trouvera en effet la lettre dans les archives de Huygens, mais sans le paragraphe en question. L'historienne des sciences Ellen T. Drake (1996, p. 33), mentionne :

« la copie de la *Royal Society*, donc, doit avoir été soignée [*doctored*] pour **produire l'effet désiré**. »

Son collègue Michael Nauenberg (University of California) estime que Newton n'avait pas les moyens de le faire (*communication personnelle*)<sup>184</sup>.

Sans pouvoir dire si une telle manœuvre a eu lieu, on peut néanmoins relever que, pour témoigner de sa priorité, Newton n'avait pas hésité à déposer des brouillons de son livre à la Librairie Universitaire de Cambridge, pour faire croire qu'elles avaient constitué ses *Lectures* en chaire<sup>185</sup>, et que lors d'une autre querelle de priorité, avec Leibniz cette fois, il se fit passer pour l'auteur impartial d'un article anonyme où il parle de lui à la troisième personne –d'une manière d'ailleurs instructive, comme nous le verrons.

Pour l'instant, Newton n'a pas encore livré l'ensemble de son manuscrit : il décide purement et simplement de ne pas publier le livre III, le plus intéressant. Catastrophe pour Halley, qui finance la parution de l'ouvrage... Ne nous en privez pas, le prie Halley<sup>186</sup>, nous autres qui ne sommes que des "Philosophers without Mathematics" : seul Newton est parvenu à la démonstration mathématique.

Certains auteurs pensent même que l'histoire de la pomme, qui n'apparaît qu'en 1726, est une invention pour ne pas reconnaître l'utilisation des hypothèses de Hooke.

<sup>182</sup> « La question à 40 shillings » et « Qui a gagné les 40 shillings ? », in Guicciadrini, 2003, p. 4-15 et 93-95.

<sup>183</sup> Brewster, D. (1855). *Op. cit.*, p. 439-442.

<sup>184</sup> *Échange courriel du 23 mars 2008*.

<sup>185</sup> Relaté sur le site de la *Cambridge University Library* : "deposited in the University Library as if they had been his Lucasian lectures", [http://www.lib.cam.ac.uk/Exhibitions/Footprints\\_of\\_the\\_Lion/gravity\\_glorry.html](http://www.lib.cam.ac.uk/Exhibitions/Footprints_of_the_Lion/gravity_glorry.html)

<sup>186</sup> Halley à Newton, 29 juin 1686, in Brewster, D. (1855). *Op. cit.*, p. 446-448.

Newton place cet événement et d'autres découvertes en 1666, "alors que j'étais dans la fleur de l'âge créatif". En référence à ce récit, on parle parfois de l'année de la (prétendue) pomme comme de l'*annus mirabilis* (année merveilleuse) de Newton.

Niccolo Guicciardini (2003, p. 29), écrivant sur *Les années merveilleuses* de Newton, s'interroge :

« On peut être surpris de voir Newton soutenir en 1675 une théorie de la gravitation si peu "newtonienne". En fait, jusqu'à **la fin des années 1680**, le mouvement des planètes n'est pas le résultat d'une force agissant à distance et dirigée vers le Soleil. **Au contraire**, Newton **maintiendra** que la gravité est causée **par contact avec un milieu interplanétaire**. Que la **chute d'une pomme** ait pu inspirer à un savant somnolant la théorie de la gravitation universelle paraît **improbable**, mais elle a fait florès. »

Et Hooke a fourni son hypothèse à Newton bien avant la fin des années 1680 puisque, communiquée à la *Royal Society* en mai 1666, il l'écrit à Newton lui-même en novembre 1679.

Une autre anecdote rapportée par Voltaire paraît elle aussi improbable, quand on sait que Newton utilise très tardivement les tourbillons du système de Descartes, et qu'il cite celui-ci à Hooke comme l'un des géants sur l'épaule duquel il se tient :

« M. Conduit, neveu du chevalier Newton, m'a assuré que son oncle avait lu Descartes à l'âge de vingt ans, qu'il crayonna les marges des premières pages, et qu'il n'y mit qu'une seule note, souvent répétée, consistant en ce mot : *error* ; mais que, las d'écrire *error* partout, il jeta le livre et ne le relut jamais. » (1734, XV).

Ces anecdotes, qui paraissent à la fin de la vie de Newton et que rendent très suspectes les analyses historiques, ont comme effet principal de le dépeindre comme ne devant rien à personne, ni aux fictions de Descartes qui ne sont qu'un tissu d'*errors*, ni aux hypothèses de Hooke qu'une pomme lui avait déjà fournies.

Auparavant, Newton déclare à de nombreuses reprises qu'il *n'a pas besoin* d'hypothèses. Et c'est ici que la comparaison des procédures des deux adversaires est riche d'enseignement. Hooke a formulé son hypothèse sur la *force* d'attraction, mais ne parvient pas à en déduire, comme conséquence, la *forme* de l'orbite –une ellipse. Des données récentes ont montré qu'il n'en était cependant pas loin. Newton, lui, prétend passer de la forme à la force, et ainsi découvrir celle-ci, *sans en avoir fait l'hypothèse*. Du "phénomène" (l'ellipse), il "déduit" directement la loi, conformément aux canons méthodologiques qu'il avance :

« un corps faisant sa révolution dans une ellipse, **on demande la loi** de la force centripète », pose-t-il, pour conclure « la force centripète **sera en raison inverse** de  $SP^2$ . C.Q.F.T. » (*Principes*, livre I, 3<sup>e</sup> section, proposition XI).

C.Q.F.T. : ce qu'il *fallait* trouver en effet, et s'il *trouve* la proposition de Hooke, on peut penser qu'elle ne lui a pas été nécessaire.

Dans la préface des *Principia*, Newton déclare :

« toute la difficulté de la philosophie paraît consister à **trouver les force** qu'emploie la nature, **par les phénomènes** du mouvement que nous connaissons, et à démontrer ensuite, par là, les autres phénomènes » (livre I, p. XVI).

### **Les étranges bévues et lapsus de Newton.**

Newton dit "déduire des phénomènes" sa loi, sans hypothèse préalable, et notamment sans celles de Hooke. Nous avons vu que le sens de ce "déduire", qui marque une extraction nécessaire, mais c'est bien une induction, des phénomènes à la loi abstraite, qu'il revendique –encore que les "phénomènes" sont les *lois* de Kepler, moins générales toutefois que celle de la gravitation.

Le **phénomène** étant l'ellipse (forme de la trajectoire), il en "déduit" la **force** (loi de l'inverse du carré, **ISL** (*inverse square law*) des auteurs anglais).

Et s'il déduit l'ISL des phénomènes, il n'a pas besoin que Hooke la lui ait fournie, et il n'a pas non plus procédé à l'inverse, de l'ISL de Hooke à l'orbite.

Il aurait alors procédé selon l'**induction** : *Ellipse*  $\rightarrow$  *Loi*, (notons cela  $E \rightarrow \text{ISL}$ ), et non selon la **déduction** : *Loi hypothétique*  $\rightarrow$  *Ellipse* (notons cela  $\text{ISL} \rightarrow E$ ).

Ce qui est différent : dans le premier cas, la loi découle **de la nature** (aidée, certes, par Kepler, qu'il ne cite pas), dans le second, **d'une hypothèse**, telle l'une de celles que Hooke lui reproche de ne pas lui reconnaître.

Selon les éléments fournis par I. Bernard Cohen (1960, p. 249) Newton paraît fort confus et fait même des lapsus inhabituels quand il présente sa version des choses, à tel point que Cohen se sent obligé de préciser :

« Newton lui-même savait fort bien que "A entraîne B" ne prouve pas "B entraîne A". »

C'est bien le moins pour un mathématicien de son envergure.

### Premier lapsus :

« Ce que Newton a démontré, apparemment à la suite de sa correspondance avec Hooke, c'est qu'une **orbite** elliptique **implique** une **loi** en carré inverse » (p. 249).

Soit :  $E \rightarrow \text{ISL}$ .

« **Pourtant**, selon la relation que Conduitt donne de la visite de Halley, lorsque celui-ci demanda à Newton quelle est l'orbite d'une planète soumise à une force en carré inverse (et non quelle est la force correspondant à une orbite elliptique), Newton répondit qu'on obtient une ellipse, et dit qu'il l'a "calculée". » (*id.*).

(Conduitt tient ça de Halley).

Halley lui demande, en 1684 :  $\text{ISL} \rightarrow ?$  (et non  $E \rightarrow ?$ ). Il lui pose la question dans ce sens là puisqu'il connaît l'hypothèse ISL de Hooke, au moins depuis la question à 40 shillings, somme que ni lui ni Hooke n'ont su gagner faute de compétences mathématiques suffisantes. C'est d'ailleurs ce que Hooke avait demandé à Newton de considérer le 6 janvier 1680 :  $\text{ISL} \rightarrow ?$  Mais, étrangement, ça n'intéressait pas Newton.

Or Newton, qui prétendra ensuite qu'il avait démontré depuis longtemps  $E \rightarrow \text{ISL}$ , répond à Halley avoir calculé, à l'inverse,  $\text{ISL} \rightarrow E$ . Comme il l'aurait fait s'il était parti de l'ISL de Hooke en 1680...

### Deuxième et troisième lapsus :

« Quand plus tard il tenta de reconstituer le cheminement de sa pensée, Newton dit qu'en 1676-1677 (une **erreur** pour 1679-1680), il "trouva la proposition affirmant que soumise à une **force centrifuge** [lire **centripète**] inversement proportionnelle au carré de la distance, une planète accomplit sa révolution selon une **ellipse** autour du centre de force" » (*id.*).

Évidemment, l'erreur "1676-1677" a l'avantage de donner une date antérieure à la fourniture de l'hypothèse ISL de Hooke, tandis que la nouvelle erreur, "centrifuge", correspond bien à sa pensée d'alors, avant que Hooke lui fournisse son autre hypothèse, plus importante encore, celle de la déviation orbitale permanente *vers* le centre.

Et on note la récidive du premier lapsus : soumise à une force ISL, c'est une ellipse, soit  $\text{ISL} \rightarrow E$ .

Cohen propose alors quatre interprétations de ce qu'il nomme des "bévues", deux explications lui paraissant impensables chez un pareil mathématicien, et il conclut en se référant à l'interdit newtonien :

« cette chronologie n'autorise que des hypothèses. Mais, ainsi que l'a dit Newton, la connaissance ne doit pas se bâtir sur des hypothèses. » (*id.*, p. 250).

C'est en définitive bien pratique, car, poursuit Cohen :

« Newton consacra énormément de temps et d'énergie à **composer** et à **faire admettre** une **chronologie de ses découvertes** situant nombre d'entre elles **antérieurement aux dates fournies par les documents historiques attestés**. Probablement faut-il voir dans cette superposition à l'histoire d'une **chronologie imaginaire** le désir de **triumpher de ses adversaires** lors des querelles de **paternité**. » (*id.*, p. 251).

Donnant un exemple de ce révisionnisme, Cohen mentionne la pomme, associée dans le propre récit de Newton à une gravitation s'étendant jusqu'à la Lune. Cohen rétablit tranquillement les faits :

« Mais ce qu'il avait alors déterminé n'était pas la chute de la Lune, (...) mais quelque chose de tout à fait différent. » « Ce n'est que plus tard, en 1680, que Newton fut **converti par Hooke** au concept de force **centripète**. » (*id.*, p. 251-252).

I. B. Cohen fournit des éléments capitaux dans sa *Newtonian Revolution* (1980, p. 249-251)<sup>187</sup>, où le lapsus centrifuge/centripète lui inspire ce commentaire :

« Le concept et le terme "centrifuge", provenant de Huygens, ont tous deux été transformés par Newton en "centripète". **Quand** eut lieu cette transformation ? La **contribution originelle de Hooke** suggéra-t-elle à Newton que les mouvements planétaires devaient être constitués d'une composante inertielle linéaire et des effets d'une force dirigée **vers** le Soleil ? **Il semble bien**. (...) Nous devons bien voir **combien la "théorie" de Hooke fut importante**, (...) car dans la proposition I à la fois de son *De Motu* et des *Principia*, Newton **expose exactement ça**. »

Mais, surtout, Cohen compare différents documents non publiés de Newton. Celui-ci y admet qu'en 1679-1680, Hooke lui a fourni une occasion d'étudier la dynamique planétaire, mais sans contribution substantielle à sa pensée. Dans l'un de ses papiers, il dit qu'il avait *trouvé auparavant* l'ISL, et que sous l'impulsion de la lettre de Hooke, il trouva, de plus, que l'orbite était elliptique, soit le contraire de son récit des *Principia*. Dans le papier avec les lapsus 2 et 2, l'"erreur" de date et celle de force, non seulement il ne mentionne plus Hooke, mais on trouve :

« in the winter between the years 1676 [**changed from 1666**] & 1677 I found the Proposition [etc., avec toujours ISL → E] »

Au départ, Newton voulait faire remonter son récit de 1680 non seulement à 1676, mais à *1666*, c'est-à-dire exactement ce qu'il fera plus tard, en y situant l'improbable histoire de la pomme. Commentaire de Cohen sur ce papier :

"Of course, this is a **bogus history, createb by Newton** in about **1718**" (une histoire fausse **créée vers 1718**).

### **Hooke, the man who knew too much.**

Lalande (1929, p. 78) rattache le verdict newtonien à sa rancune envers Hooke et ses ingénieuses "suppositions" :

---

<sup>187</sup> Cohen, I. B. (1980). *The Newtonian Revolution*, Cambridge University Press, 1980.

« Il y a chez lui, certainement, une défiance extrême, **accompagnée de quelque rancune**, contre l'abus des hypothèses. **Quand il dit : “je ne fais pas d'hypothèses”**, cela veut dire : “Ce que je fais moi, ce ne sont pas de **simples suppositions** comme celles de Roberval, de Bouillaud, **de Hooke, à qui l'on veut attribuer ma découverte**. Je ne suppose pas, **je prouve”** ».

Pour I. B. Cohen :

« Robert Hooke qui, de manière tout à fait **compréhensible**, estimait que, pour avoir anticipé certaines des lois de la dynamique et de la gravitation, il **méritait** de la part de Newton **bien plus** qu'une simple mention faite en passant. » (1960, p. 168).

Lorsque Voltaire présente son héros Newton, il ne peut tout de même s'empêcher de mentionner :

« Il s'appliquait à chercher ce principe secret et universel de la nature, (...) **déjà saisi par le célèbre Hooke** : c'est-à-dire cette cause de la pesanteur et du mouvement de toute la matière. » (1734, XV).

Comme le remarque Gal (2002, p. 17), Newton, en choisissant de contester à Hooke le “copyright” de sa seconde hypothèse, celle de la loi de l'inverse carré, peut mieux noyer sa dette envers la première sur le mouvement curviligne, apport de Hooke “ bien plus fondamental” comme le rappelle aussi I. B. Cohen (1960, p. 242).

Lorsqu'en 1689 Hooke rencontrera par hasard Newton chez Halley, il l'interpelle sur l'antériorité de son hypothèse, et Newton lui répond (en latin)<sup>188</sup> :

« du simple fait que quelque chose puisse être, il ne s'ensuit pas que cette chose est ».

Il avait déjà écrit à Halley que c'était bien lui, Newton, qui avait mené à bien tout le travail mathématique.

Hooke note, ce jour là, dans son journal :

« L'intérêt n'a pas de conscience. »<sup>189</sup>

Quelles qu'aient été les motivations profondes de Newton, il prononce en 1713 son fameux blâme des hypothèses dans les sciences expérimentales, qui est sans appel.

Cette sentence tombe comme un couperet, et aura une influence déterminante dans le monde savant comme, plus tard, dans le monde de l'enseignement.

Si Newton emporte l'adhésion par ses déclarations contre les hypothèses, c'est que, son système écrasant celui de Descartes, intervient ce que Hamou nomme un préjugé normatif :

« de la bonne science, croit-on, n'a pas pu se faire sans une vue correcte de ce qu'est la science, et il en va réciproquement : la mauvaise science tient sans doute en quelque manière de la mauvaise philosophie » (2002, p. 113).

Newton tient à faire disparaître la notion d'hypothèse, même de ses écrits antérieurs : dans la première édition des *Principia*, il avait nommé “hypothèses” certains préceptes généraux qu'il admettait, tel « Les effets du même genre doivent toujours être attribués, autant qu'il est possible, à la même cause » : nous avons conservé son propre exemplaire<sup>190</sup> avec, rayé de sa main avant

---

<sup>188</sup> *A posse ad esse non valet consequentia* : de pouvoir être à être il n'y a pas conséquence.

<sup>189</sup> Cité par Jardine, 2003, p. 10.

<sup>190</sup> Collections de la *Cambridge University Library*,

[http://www.lib.cam.ac.uk/Exhibitions/Footprints\\_of\\_the\\_Lion/gravity\\_glory.html](http://www.lib.cam.ac.uk/Exhibitions/Footprints_of_the_Lion/gravity_glory.html)

réédition, le mot latin *hypotheses*, qu'il remplace par *Regulae philosophandi* (règles pour philosopher).

Dans la violente polémique qui l'oppose à Leibniz pour la priorité du calcul différentiel et intégral,

« Newton **utilise tous les moyens**, même les plus **illicites** » (Guicciardini, 2003, p. 87).

C'est à cette occasion qu'on peut lire Newton parlant, sous couvert d'anonymat, de la méthode de... Newton.

Leibniz, accusé d'avoir lu ses manuscrits déposés à la *Royal Society*, demande à celle-ci, dont il est membre, de lui rendre justice : un comité est nommé, dont le rapport donne raison à Newton. Et comme s'il n'était pas suffisant pour Newton d'être l'auteur secret de ce rapport non signé (1712), il en rédige une recension anonyme<sup>191</sup> (Shapiro, 2004) :

« La philosophie que M. Newton a suivie dans ses *Principes* et son *Optique* est **expérimentale** ; et ce n'est pas le rôle de la philosophie expérimentale d'enseigner les causes des choses au-delà de ce qui peut en être prouvé par les expériences. Dans cette philosophie **les hypothèses n'ont pas de place, si ce n'est** comme des conjectures ou des questions avancées afin d'être examinées par des expériences (*unless as Conjectures or Questions proposed to be examined by Experiments*). Pour cette raison, M. Newton dans son *Optique* a distingué les choses rendues certaines par l'expérience de celles demeurant incertaines, qu'il a de ce fait proposées à la fin de son *Optique* sous la forme de **questions**. (...) Ces deux gentlemen diffèrent beaucoup en philosophie. L'un procède à partir d'**évidences émanant des expériences et des phénomènes**, et s'arrête là où manque une telle évidence, **l'autre adopte des hypothèses**, et les propose, non pour être examinées par des expériences, mais pour être crues sans examen. » (Anonyme [Newton] sur Newton, 1715)<sup>192</sup>.

Newton frappe donc fort quand il rejette les hypothèses. Dans ses phrases les plus célèbres, il les rejette toutes et ne veut procéder que par induction, même si ailleurs il ne vise que les hypothèses-fictions. Ce sont celles de Descartes, mais aussi celles qu'on a opposées à ses propres certitudes prématurées, comme Hooke et Huygens se sont permis de le faire en 1672, et celles qu'on le soupçonne d'avoir fait siennes, comme celles que Hooke lui a fournies en 1679-80. Cependant, dans sa pratique, on l'a vu, les hypothèses sont nombreuses, *même les fictives*, et quand il se prononce dans un autre contexte (1715), il renonce à ses *certitudes* mathématiques de jeunesse et fait une place à certaines de ces hypothèses ("unless" dans le rapport anonyme), qui devaient pourtant n'en avoir aucune, quelles qu'elles soient (selon le texte de 1713).

Hooke, en tout cas, apparaît comme la "bête noire" de Newton. Il est significatif que Newton soit allé jusqu'à menacer de ne pas publier la pièce principale de ses *Principia* uniquement parce que Hooke bougonnait de ne pas y être cité. Il fallut attendre que Halley lui fournisse des assurances, "le cajole", "le flatte" (Westfall, 1980, p. 181), lui dise que la *Royal Society* était de son côté, que Hooke n'avait qu'à s'en prendre à lui-même.

« Reconnaître la priorité de Hooke ? Bien au contraire, il retourna au brouillon du livre final et s'attaqua à la mention qu'il avait faite de Hooke. Il biffa la reconnaissance au concept d'attraction de Hooke (...). Plus loin, le discours sur les comètes avait inclus une observation faite par "Clarissimus Hookius" (le très distingué Hooke) : un brutal coup de plume réduisit le "très distingué" en un simple "Hooke". Quand il révisa le livre, il alla jusqu'à éliminer tout le passage, en même temps qu'un autre qui reconnaissait aussi une observation de Hooke. » (Westfall, 1980, p. 181).

Il ne subsiste aucun portrait de Hooke, et tout son matériel expérimental a disparu : des faits qui sont parfois attribués à son conflit avec Newton, qui, après sa mort, devient président de la *Royal Society* et publie enfin son *Optique* (1704), ouvrage prêt depuis plus de vingt ans. Il le dit lui-même dans son avertissement, que Marat traduit ainsi (p. xxj) :

<sup>191</sup> Sir David Brewster a presque tout retrouvé en 1855, de la main même de Newton, dans ses manuscrits. Brewster, D. (1855). *Memoirs of the life, writings, and discoveries of sir Isaac Newton*, vol. II, Constable, p. 75.

<sup>192</sup> "An account of the book entitled *Commercium epistolicum*", *Philosophical Transactions* 29, p. 173-224.

« si j'ai différé si longtemps l'impression de ce traité, c'était **crainte d'entrer en lice** sur les matières qui en font l'objet ».

Tout ceci fait intituler l'une des biographies actuelles de Hooke : *The man who knew too much*, "l'homme qui en savait trop" (Inwood, S. (2002), Macmillan).

Il apparaît comme très probable que Hooke ne réclamait pas en vain sa priorité, et que ses deux hypothèses sur la gravitation, révélées à Newton, ont joué un grand rôle.

Un épisode qui s'est joué à la *Royal Society* est, à cet égard, significatif. Lorsque Hooke, au cours de l'hiver 1686-1687, présente les voies de l'architecte et du jardinier (voir partie 1.2.4.2.), cette dernière ne permettant qu'une lente récolte de fruits, il précise, pour illustrer la voie plus rapide de l'architecte :

« j'eus l'idée, il y a quelques années, de présenter à cette société **un exemple de cette méthode** dans des leçons sur les mouvements et les influences des **corps célestes** ; et **c'est ce que M. Newton va aussi faire bientôt** dans un ouvrage qui est sous presse. Ce n'est pas là, au reste, les seuls exemples de ce genre que j'ai à donner : j'en aurais beaucoup d'autres encore **dans lesquels, une hypothèse étant posée** pour un but déterminé, on peut, en partant de cette donnée, prévoir *a priori* tous les phénomènes qui en découlent ». <sup>193</sup>

L'ouvrage sous presse c'est, bien sûr, les *Principia*. Et la méthode dont parle Hooke est celle des hypothèses : il rappelle ainsi qu'il a déjà présenté ses hypothèses sur les mouvements des corps célestes (en 1666) et indique que M. Newton va aussi le faire bientôt, *exemple, donc, de méthode où l'on part d'hypothèses*. Robert Hooke rappelle ici son antériorité, mais quant à la manière dont M. Newton va exposer ses résultats, il se trompe : ce ne sera pas comme il s'y attend à la manière de l'architecte partant du haut, d'une hypothèse d'où il déduira les phénomènes, mais en prétendant à la manière du jardinier partir du bas, d'une graine –les "phénomènes"– qui évolue jusqu'au fruit –la loi de la gravitation.

Newton peut d'autant mieux nier ce qu'il doit à Hooke qu'il prétend ne pas connaître cette chose, l'hypothèse. Si cette interprétation est exacte, nous devons peut-être une partie du discrédit qui pèse dans les salles de classe sur les hypothèses au camouflage par Newton de son larcin, remplacé avec bonheur par la légende de la pomme.

## L'homme de la "formule de l'Univers"

**Nul n'atteindra à la gloire de Newton : il n'y avait qu'un monde à découvrir.  
Lagrange.**

Ce discrédit est prononcé par cet homme qui avait délivré, dans les *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle* (1687), la "formule de l'Univers", pour reprendre le terme de Prigogine et Stengers dans *La nouvelle Alliance*. Ceux-ci l'y nomment *le nouveau Moïse*, car on pouvait voir en lui :

« une espèce de magicien, détenteur potentiel d'une clef universelle et donc d'un savoir tout puissant » (1978, p. 26).

Dès lors, ses mots auront un poids considérable.

Un tel homme ne pouvait se tromper : non seulement il détruit les fictions de Descartes, mais il donne une loi universelle, qui se vérifie.

---

<sup>193</sup> Cité in Stewart, D. (1814), p. 261-262.

Un surprenant éventail de phénomènes y obéit, sur la Terre et dans les cieux : les mouvements des planètes et des satellites, les marées, la forme de la Terre et jusqu'à la chute des pommes... L'homme pouvait prévoir et calculer avec précision les éclipses, le retour des comètes, les marées. Tout venait soudain se ranger sous le compas de l'esprit humain, donnant un sentiment de domination de l'univers. Montaigne avait raillé la faiblesse et la présomption de cet esprit qui, vainement, envoyait dans les cieux "ses cordages, ses engins et ses roues" pour tenter de saisir "le branle des étoiles"<sup>194</sup>, mais cette fois le ballet céleste avait trouvé son *maestro*, et ces mondes incompréhensibles se pliaient docilement à sa partition.

Arago et Lagrange considéraient Newton comme "le plus grand génie de tous les temps", et Voltaire parlait ainsi de lui :

« (...) **le plus grand homme qui ait jamais été**, mais le plus grand, de façon que les géants de l'Antiquité sont auprès de lui des enfants qui jouent à la fossette. »<sup>195</sup>

Laplace (1796), tout en reconnaissant à Hooke l'origine de l'idée de la combinaison des forces orbitales, salue le livre de Newton :

« tout cela, présenté avec beaucoup d'élégance, assure à l'ouvrage des *Principes* la **prééminence sur les autres productions de l'esprit humain** » (ch. 5, p. 419).

En même temps, l'ancien système auquel on avait cru était renversé, les tourbillons cartésiens nous avaient trompés, et si l'on ne pouvait suivre Monsieur Newton dans ses ingénieux calculs, nous pouvions l'entendre quand il nous affirmait que les hypothèses nous avaient piégés, et que l'expérience en avait heureusement triomphé. Les *Principes de la Philosophie* de Descartes (1644) pouvaient être remplacés par les *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle* de Newton (1687), titre qui contient et surpasse le précédent. Aux quatre règles déductives énoncées dans le *Discours de la Méthode* (1637), Newton répond par quatre règles inductives dans les *Principia* (dernière édition, 1726).

Et au *cogito ergo sum*, Newton substitue son *hypotheses non fingo*, mot d'ordre des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles newtoniens : Alexandre Koyré (1957, ch. IX et X) précise que ce sont les hypothèses *cartésiennes* qui sont ici visées.

Dans la préface de l'édition de 1713 où apparaît la formule, l'éditeur Roger Cotes décrit en effet les philosophes précédents (cartésiens), qui « tombèrent dans des rêveries aussi ridicules que celles des Anciens » en cherchant la connaissance « dans des conjectures trompeuses ».

Tandis que voici « ceux qui **ne reconnaissent d'autre règle que l'expérience** ».

Whewell avait noté cette visée anticartésienne :

« Newton semble avoir eu **horreur du terme hypothèse**, ce qui vint probablement de sa connaissance des suppositions téméraires et illicites de **Descartes**. » (1840b, XII, XIII, 3).

I. Bernard Cohen, qui nomme le passage contenant *hypotheses non fingo* « le célèbre pénultième paragraphe » de la Scholie Générale du livre III, précise que beaucoup de lecteurs ont tenu cette devise comme caractéristique du livre (1979, p. xxii et xxviii).

Il est d'autant plus surprenant de voir Newton enchaîner, immédiatement après sa célèbre condamnation, par *un passage beaucoup moins cité*, ultime paragraphe qui contredit directement le propos du pénultième : il y invente un "esprit universel", "substance spiritueuse" responsable à la fois de la gravitation, de l'attraction et de la répulsion électrique, de la lumière et même, par ses vibrations, des sensations et des mouvements musculaires... Il énonce une sorte de théorie du

<sup>194</sup> *Essais*, II, XII, Folio 2007 p. 266.

<sup>195</sup> *Lettre à l'abbé d'Olivet*, 18 octobre 1756, *Œuvres complètes de Voltaire*, Didot, 1843, p. 217.

Grand Unifié, avec une substance dont on voit mal comment elle peut se “dédire des phénomènes” et n’avoir rien d’une hypothèse :

« Ce serait ici le lieu d'ajouter quelque chose sur cette espèce d'**esprit très subtil** qui pénètre à travers tous les corps solides, et qui est caché dans leur substance ; c'est par la force, et l'action de cet esprit que les particules des corps **s'attirent** mutuellement aux plus petites distances, et qu'elles **cohérent** lorsqu'elles sont contiguës ; c'est par lui que **les corps électriques** agissent à de plus grandes distances, tant pour attirer que pour repousser les corpuscules voisins ; et c'est encore **par le moyen de cet esprit que la lumière émane, se réfléchit, s'infléchit, se rétracte, et échauffe les corps** ; toutes les **sensations** sont excitées, et les **membres des animaux** sont mus, quand leur volonté l'ordonne, par les vibrations de cette substance spiritueuse qui se propage des organes extérieurs des sens, par les filets solides des **nerfs**, jusqu'au **cerveau**, et ensuite du cerveau dans les **muscles**. Mais ces choses ne peuvent s'expliquer en peu de mots ; et on n'a pas fait encore un nombre suffisant d'expériences pour pouvoir déterminer exactement les lois selon lesquelles agit **cet esprit universel**. » (1713, traduction Émilie du Châtelet, 1759, p. 179-180).

Whewell (1840b, XII, XIII, 3) relevait les diverses hypothèses faites par Newton lui-même, et de nombreux auteurs ont mentionné cette contradiction, ou tenté de la minimiser.

Michel Paty note l'incohérence :

« Son “hypotheses non fingo” ne signifie pas le rejet de toute hypothèse théorique, ce qui **contredirait sa propre attitude** scientifique » (article *Newton* in *Encyclopædia Universalis*, 2005).

Hamou mentionne :

« (...) dans d'abondants manuscrits et dans les *Questions* qui accompagnent le texte de l'*Optique*, **Newton pratique le mode “hypothétique” sans retenue**. (...) La multiplicité de ces explications, le fait qu'elles soient envisagées en parallèle, affectées de divers degrés de plausibilité, mais jamais considérées comme décisives révèlent qu'il s'agit bien là d'“hypothèses” **au sens fort visé par Newton** lorsqu'il en excluait l'usage dans les *Principia*. **Aucune d'elles ne peut véritablement se déduire des phénomènes ni être rendue générale par induction**. » (2002, p. 111).

Newton termine d'ailleurs ces *Questions (Queries)* de l'*Optique* en disant qu'il laisse à d'autres le soin d'examiner ces suppositions « par des expériences et des observations plus recherchées », exactement... comme Descartes le demandait pour ses propres hypothèses.

Dans ces célèbres *Queries*, commente I.B. Cohen,

« Newton introduisit un panel d'“hypothèses” - non seulement sur la lumière, mais sur un grand nombre de sujets de physique et de philosophie, comme si dans son ouvrage final il avait **vidé son esprit des conjectures accumulées** par toute une vie d'activité scientifique. (...) Si nous utilisons **la propre définition de Newton**, qui veut que “tout ce qui n'est pas déduit des phénomènes doit être nommé une hypothèse”, **alors ce sont des hypothèses**. » (1979, p. xxv-xxxiii).

Cohen voit dans “le caractère progressivement conjectural” de l'*Optique* se révéler l'esprit authentique de Newton au travail, l'étiquette “questions” apposées à ses conjectures lui permettant de se libérer des restrictions qu'il a imposées.

Newton précise d'ailleurs au début de la seconde édition (1717), concernant les *Queries* :

« (...) manière d'écrire dont j'ai fait choix pour proposer **mes idées**, n'ayant pu encore les fixer à ma satisfaction, **faute d'expériences** » (trad. Marat, 1787, t. 1 p. xxxiv).

Il fit bien d'autres hypothèses, sans même parler de celles qu'il élaborait en alchimie, Ronan (1983 p. 499) par exemple cite celle émise pour expliquer qu'on puisse à la fois se voir dans une vitre et voir à travers par la vibration des corpuscules de lumière, et l'on pourrait également évoquer l'hypothèse de la Terre enflée à l'équateur, émise d'ailleurs avant lui par... Hooke (Ellenberger, 1994, p. 91).

À la suite de Newton, la défiance à l'égard des vues *a priori* détachées de l'expérience, des *systèmes*, est générale. Beaucoup, le suivant loin des spéculations cartésiennes, seront poussés vers l'empirisme.

Judith Schlanger (1971, p. 99) fait cette analyse de son impact :

« le “système de Newton” règne dans le ciel intellectuel en maître incontesté. Bien plus que les lois de Newton proprement dites, la gloire de Newton **illumine l'horizon épistémologique.** »

### 1.2.6.3. Le poids de l'interdit newtonien

Newton est monté au plus haut de la tour et a tiré l'échelle après lui.  
Malebranche<sup>196</sup>.

L'hypothèse, arme proscrite dans le sein de l'Académie des Sciences depuis qu'elle existe.  
Pasteur<sup>197</sup>.

La querelle avec Hooke a poussé Newton à se retrancher sous la bannière “hypothèses non fingo”, et tel demeure son principal legs méthodologique à la postérité, legs fort paradoxal de la part de l'auteur de nombre d'ingénieuses hypothèses.

La sentence de Newton est devenue *elle-même* une de ces fictions qu'elle vise : démentie par l'examen des faits, elle n'en poursuit pas moins sa carrière, destinée à être crue plutôt que vérifiée. Les hypothèses, désormais, seront souvent jugées à travers le prisme de Newton, qu'il a rendu, sur ce point, déformant.

Pour Peter Medawar,

« quand Newton écrivit *Hypotheses non fingo*, on estima qu'il **réprouvait l'exercice de l'imagination en science.** (Il ne voulait pas “vraiment” dire ça, naturellement, mais **l'importance de sa responsabilité** tient précisément à cette mauvaise compréhension.) » (1972 p. 21).

« Newton représente la figure du héros de toute méthodologie scientifique de ces derniers 200 ans », ce qui rend « **son désaveu célèbre et profondément influent** (...). 200 ans après Newton personne ne pouvait avouer faire usage d'hypothèses sans jeter un coup d'œil plein de malaise derrière lui. Dugald Stewart déclara qu'un “zèle aveugle contre les hypothèses” avait été “très encouragé par les termes forts et décidés par lesquels, à diverses occasions, elles furent **réprouvées par Newton**”. » (1967, p. 140).

Laudan indique :

« le demi-siècle suivant la publication des *Principia* fut caractérisé par une **antipathie croissante** contre les hypothèses et les conjectures. » (1981, p. 97).

Newton a placé sous l'éteignoir, pour longtemps, la référence explicite aux hypothèses : or, fait remarquer Lalande (1929, p. 68), la méthodologie que Claude Bernard analysera le mieux se trouvait déjà définie chez Hooke :

« On touchait donc, à cette époque là, à **la libre méthode hypothétique**, telle que nous la trouverons définie chez Claude Bernard (...), et l'on voit que **Hooke avait conscience de ses procédés fondamentaux.** Mais “**Newton parut enfin...**” comme dit d'Alembert ; et si ce fut pour réaliser en physique des découvertes qui donnèrent un élan et une confiance incomparables à la génération qui suivit, ce fut aussi pour en “bannir les

<sup>196</sup> Cité en note de l'édition originale de la *Correspondance inédite de Buffon*, tome 1, Hachette, 1860, p. 258.

<sup>197</sup> Quatrième réponse à M. Berthelot, 10 février 1879, in *Œuvres de Pasteur*, Masson, tome 2, 1922, p. 614.

conjectures” et pour **rétrécir ainsi la route en l’entourant de barrières dont les vestiges n’ont pas encore disparu.** »

Lalande qualifie la grande opposition :

« la lutte entre la **tradition newtonienne** et la **tradition de l’hypothèse** » (1929, p. 124).

« Malgré le **succès du newtonianisme, et même de l’ultra-newtonianisme, dans la méthodologie moderne**, la tradition de liberté créatrice qui se manifestait dans l’hypothèse a toujours compté des défenseurs, et parmi les savants de premier ordre. » (1929, p. 98).

Newton a vaincu pour longtemps par son « retour au conseil baconien de lester les semelles » :

« le cartésianisme avait été intempérant à cet égard (...). La consigne newtonienne a certainement contribué à l’extraordinaire floraison, au XVIII<sup>e</sup> siècle, de la **tendance à collectionner**, soit les faits, soit les productions de la nature ». (1929, ch. VII).

Le philosophe Thomas Reid, dans son *Essais sur les facultés intellectuelles de l’homme* (1785), écrivait :

« De toutes les découvertes anatomiques et physiologiques, **pas une n’est due à une conjecture.** (...) Et en revanche, des nombreuses conjectures, formées dans les différents siècles sur la structure du corps humain, il n’en est **aucune que l’observation ait confirmée** ; elle les a toutes démenties. (...) Comme ce fait est confirmé par l’histoire entière de la philosophie, il semble que les hommes devraient avoir appris depuis longtemps à **mépriser les hypothèses** (...), et qu’ils auraient dû **renoncer** à avancer dans la science par ce moyen. (...) Le monde a été si longtemps **égaré par les hypothèses** qu’il est de la dernière importance pour quiconque entreprend de faire quelques progrès dans la science de les traiter avec le **mépris** que peut mériter la vaine et chimérique prétention ». (t. 3, p. 59-60).

« Dans les sciences, le penchant aux hypothèses et l’ambition de saisir les secrets de la nature par une sorte d’anticipation, ont toujours caractérisé les hommes de génie. Au lieu de remonter de cause en cause l’échelle des phénomènes, par une **laborieuse et patiente induction**, on les a vus dans tous les temps céder au désir d’abrèger la route, et tâcher d’en atteindre le terme d’un seul élan. Il y a dans cette tentative quelque chose de hardi qui flatte notre orgueil, mais elle passe nos forces et ne peut aboutir qu’à une **chute éclatante.** » (t. 5, p. 193).

« On a souvent **porté le défi** aux partisans des hypothèses de **citer une seule découverte** dans les ouvrages de la nature, qui ait été faite par la **méthode des hypothèses** ; si l’on pouvait en citer, il en faudrait conclure que Bacon et Newton ont fait grand tort à la philosophie, en s’élevant contre cette méthode ». (t. 3, p. 105).

Lalande (1929, p. 83) commente :

« cette **prodigieuse exagération** n’a été rendue possible que par l’entraînement qui s’est produit au XVIII<sup>e</sup> siècle, sous l’influence de la masse, par la réaction de l’opinion des uns sur celle des autres. Mais elle a eu pour résultat de créer une prévention extrêmement forte, qui a dominé même de grands esprits, et qui s’est **conservée jusqu’à nos jours** » (1929, p. 83).

Un biographe de Darwin décrit l’influence de Newton sur ces questions, au siècle suivant (les sentences de Newton datent de 1706 et 1713, l’œuvre majeure de Darwin, de 1859) :

« Peu importe à quels principes méthodologiques on s’attachait à cette époque, **ils devaient être décrits comme “inductifs”**, et avoir comme sources Bacon et Newton. Les hypothèses étaient suspectes. Après tout, **le grand Newton** ne feignait jamais de pareilles choses. L’expérience directe était sacrée. Il ne fallait pas faire appel aux qualités occultes des Scolastiques médiévaux. Mieux, les causes utilisées pour expliquer les phénomènes naturels devaient être de vraies causes – ‘*verae causae*’, comme les nommaient les admirateurs de Newton. »<sup>198</sup>

---

<sup>198</sup> Radick, G. (2003). “Is the theory of natural selection independent of its history?”, in Hodge, J. (dir.) et Radick, G. (dir.) (2003). *The Cambridge Companion to Darwin*, Cambridge University Press, p. 175.

Le grand Newton en imposa d'ailleurs dans d'autres domaines que celui de la méthodologie scientifique : le triomphe de la gravitation universelle marque à ce point les esprits qu'il paraît entrainer dans son sillage une allégeance tout aussi universelle.

Le physicien Arthur Schuster signale :

« la grande autorité de Newton bloqua le progrès de la théorie ondulatoire pour plus d'un siècle » (1904, p. 81).

Ce fut le tout premier sujet de confrontation avec Hooke et Huygens, et I. B. Cohen fait remarquer dans sa préface à la réédition de l'Optique de Newton (1979) que leur hypothèse ondulatoire ne refit surface qu'en 1802-1804 avec Thomas Young, qui, malgré ses références insistantes à Newton, Young fut attaqué sans merci.

« Fresnel et Arago, en France, ne se seraient pas intéressés aux travaux de Young, il paraît probable que **l'influence du grand nom de Newton** aurait de fait **bloqué toute extension** des idées de Young (...) et tout développement ultérieur de la théorie ondulatoire de la lumière. » (p. xi).

Une situation, poursuit Cohen, non sans ressemblance avec celle qui en mathématiques fit qu'une "aveugle adhérence" à Newton conduisit longtemps au rejet complet des méthodes de Leibniz.

Il note également que les auteurs de traités scientifiques du XIX<sup>e</sup> siècle, pour lesquelles la théorie ondulatoire était la seule vraie, étaient cependant pleins de bienveillance pour l'approche de Newton, mais beaucoup moins généreux avec d'autres prédécesseurs quand ils évoquaient les théories "erronées" du passé (p. x).

Koyré (1968, p. 39-42) présente l'impact, dans le domaine scientifique et au-delà, des règles édictées par Newton et qui accompagnent son système dans le triomphe, en parlant de « cet engouement pour la logique newtonienne, c'est-à-dire de cet effort sans esprit critique pour appliquer les méthodes newtoniennes », ainsi que de « l'imitation servile de sa méthode » :

« Le succès écrasant de la physique newtonienne **eut pour résultat** pratiquement inévitable que **l'on considéra ses caractéristiques comme essentielles à l'édification de la science** comme telle, **de n'importe quelle science** ; toutes les sciences nouvelles qui apparurent au XVIII<sup>e</sup> siècle -sciences de l'homme et de la société- essayèrent de **se conformer au modèle newtonien** de la connaissance **empirico-déductive** et de **s'en tenir aux lois formulées par Newton** » (1968, p. 39).

À la suite de Newton, des savants de premier plan dans divers domaines scientifiques vont proclamer leur allégeance à la méthode qu'il revendique, et fait apparaître si fructueuse.

Tels sont, entre autres, Buffon (1707-1788) et Magendie (1783-1855) en biologie, Laplace (1749-1827) et Ampère (1775-1836) en physique, ou encore Desmarests (1725 -1815) en géologie ou Dumas (1800-1884) en chimie. Ce dernier jouera d'ailleurs, comme nous le verrons (partie 1.3.2.), un très grand rôle dans les instructions impériales pour l'enseignement des sciences (1854), ancêtres de celles du XX<sup>e</sup> siècle et qui, indirectement, portent des traces de la *querelle des hypothèses*.

Les déclarations de ces scientifiques, associées à leur poids dans leur domaine respectif, accentueront encore le crédit d'une méthode purement inductive.

Newton et son anathème l'emportent alors sur Hooke et son maniement des hypothèses.

#### 1.2.6.4. La “Newtonmania”

**Le compas de Neuton mesurant l’univers,  
Lève enfin ce grand voile et les cieus sont ouverts.  
Neuton de ta carrière a marqué les limites,  
Marche, éclaire les nuits ; tes bornes sont prescrites.  
Terre, change de forme, et que la pesanteur,  
En abaissant le pôle, élève l’équateur.**

**Voltaire, *Poème-dédicace à la marquise du Châtelet* (1738).**

Bertrand Russell relate :

« c’est surtout après la mort de Newton, et à la suite des *Lettres philosophiques* de Voltaire, que la **vogue de Newton** se répandit en France, et cette vogue fut **effarante** ; en fait pendant tout le siècle suivant, et jusqu’à la chute de Napoléon, ce furent surtout les Français qui continuèrent l’œuvre de Newton. » (1931, p. 41).

Cette vogue doit beaucoup aux *Éléments de la philosophie de Newton*, “mis à la portée de tout le monde par Mr de Voltaire” comme en annonce la couverture (1738), ouvrage de vulgarisation et divulgation du système de Newton : dans le demi-siècle qui suit sa première publication, il connaîtra en moyenne une nouvelle édition *tous les deux ans* ! Le public éclairé du XVIII<sup>e</sup> siècle et même du XIX<sup>e</sup>, a « appris Newton dans Voltaire »<sup>199</sup>.

On y trouve l’anecdote la plus connue de toute l’histoire des sciences, que Voltaire tient de la nièce de Newton et que le savant racontait lui-même à la fin de sa vie. Il s’empresse d’être le premier à la publier (dès 1727) dans une œuvre en anglais qui n’a rien à voir (“seeing an apple falling from a tree”), et la reprend en français (1734, XV et 1738, où ce sont “des fruits” qui tombent). Tout le monde connaît cette histoire : c’est assez dire quel fut l’impact du travail vulgarisateur de Voltaire.

Les *Éléments* sont, estime Véronique Le Ru (2005), en bois vert, « fait pour donner une volée de coups aux cartésiens » (p. 4).

« Le discours de Voltaire déploie une discussion philosophique sur la méthode scientifique. Il vise à montrer que la théorie newtonienne, parce qu’elle repose sur une méthode expérimentale (...) exprime le nouvel esprit scientifique qui doit s’imposer. (...) Tout au long des *Éléments*, auxquels Émilie du Châtelet participe activement, Voltaire réfléchit en effet sur le **statut de l’hypothèse et de l’expérience** dans la construction d’une théorie scientifique » (2005, p. 81).

« Voltaire a profondément admiré non seulement la science de Newton (...) mais aussi sa méthode expérimentale, **son refus de faire des hypothèses** et son exigence de **s’en tenir aux faits** et à l’expérience. » (2005, p. 12).

Le ton est donné dès l’avant-propos destiné à Émilie du Châtelet :

« Ce nom de *Nouvelle Philosophie* ne serait que le titre d’un **roman** nouveau s’il n’annonçait que les **conjectures** d’un moderne opposées aux fantaisies des anciens. Une philosophie qui ne serait établie que sur des explications hasardées ne mériterait pas, en rigueur, le moindre examen : car il y a un nombre innombrable de manières d’arriver à l’erreur, et il n’y a qu’une seule route vers la vérité ; il y a donc l’infini contre un à parier qu’un philosophe **qui ne s’appuiera que sur des hypothèses** ne dira que des **chimères**. Voilà pourquoi tous les anciens qui ont raisonné sur la physique, sans avoir **le flambeau de l’expérience**, n’ont été que des aveugles qui expliquaient la nature des couleurs à d’autres aveugles. » (Voltaire, 1738).

Par les idées sur la méthode qu’il répand, Voltaire ajoute à la “claque” de Newton sur les hypothèses, son propre soufflet :

---

<sup>199</sup> Cirey dans la vie intellectuelle. La réception de Newton en France, De Gandt, F. (éd.), *Voltaire Found<sup>ion</sup>*, 2001, p. 3.

Une hypothèse est « déjà **suspecte**, puisqu'elle est hypothèse » (II, X) ;

« N'allons donc point d'abord imaginer des causes et faire **des hypothèses** ; c'est le **sûr moyen de s'égarer** : suivons **pas à pas** ce qui se passe réellement dans la nature ; nous sommes des voyageurs arrivés à l'embouchure d'un fleuve : il faut **le remonter avant que d'imaginer où est sa source**. » (III, II).

### **Melon contre oignon.**

Descartes, qui s'y était transporté, avait séduit beaucoup de monde ; Newton en séduira à son tour, mais même ceux qu'il ne séduit pas de prime abord devront s'incliner devant les confirmations éclatantes de son système, qui triomphe tandis que s'écroule l'édifice cartésien. La Terre se montrera-t-elle aplatie ?

« À Paris, vous vous figurez la terre faite comme un melon ; à Londres elle est aplatie des deux côtés »,

ajoutait Voltaire à sa liste des différences entre cartésiens et newtoniens. On a aussi comparé la Terre de Descartes à un citron élané et celle de Newton à un oignon aplati. Pour trancher, des expéditions françaises sont parties mesurer la Terre en Équateur (Bouguer et La Condamine, 1735) et en Laponie (Maupertuis, aidés sur place par Celsius, 1736), et le melon du champion cartésien, Cassini, est débouté.

La comète de Halley reviendra-t-elle à la date prévue ? L'hypothèse d'un retour périodique des comètes vient justement de Cassini. Halley prévoit (en 1705) son retour pour 1758-59. Il l'avait vue à 25 ans, mais sait qu'il ne la reverra sûrement pas à 102 ans.

Laplace relate aux instituteurs, dans sa dernière leçon à l'École Normale de l'an III (1795) :

« Le monde savant attendit avec impatience ce retour qui devait confirmer l'une des plus grandes découvertes que l'on eût faites dans les sciences ».

Sa confiance dans la mécanique newtonienne ne connaît plus de bornes :

« La régularité que l'Astronomie nous montre dans le mouvement des comètes a lieu, sans aucun doute, dans tous les phénomènes ; la courbe décrite par le plus léger atome est réglée d'une manière aussi certaine que les orbites planétaires ; il n'y a de différence entre elles que celle qu'y met notre ignorance. »<sup>200</sup>

Un auteur du XVIII<sup>e</sup> siècle témoigne :

« La **fureur de l'attraction** est aujourd'hui plus forte en Hollande et en Angleterre que jamais celle des tourbillons imaginaires de Descartes ne le fut en France. On voit des avocats abandonner le barreau pour s'occuper de l'étude de l'attraction ; des ecclésiastiques oublient pour elle tous les exercices théologiques... »<sup>201</sup>

Plus tard, en 1846, des anomalies dans l'orbite d'Uranus ayant fait prédire l'existence d'une nouvelle planète, l'application de la loi de Newton en détermine l'endroit, et le télescope découvre Neptune. Et paradoxalement, bien qu'il se soit agi d'une hypothèse sur la cause de ces anomalies, confirmée par l'observation, le supplément de prestige qu'en reçoit le système de Newton rejailit sur ses consignes méthodologiques.

---

<sup>200</sup> Dixième leçon (21 floréal an III, 10 mai 1795), in *L'École normale de l'an III. Leçons de Mathématiques. Laplace - Lagrange - Monge. J. Dhombres* (dir.), Dunod, 1992.

<sup>201</sup> Boyer d'Argens, *La philosophie du Bon Sens*, Paupie, 1746. *Réflexion III*, §. 20.

Parmi les savants marqués par la philosophie de Newton, Buffon, qui a vingt ans quand celui-ci meurt, a cherché selon Canguilhem (1952, p. 67) à être le « **Newton du monde organique** », rédigeant sous le portrait de son modèle.

### **Buffon (1707-1788), le “Newton du monde organique”.**

L'imposante et populaire *Histoire naturelle* de Buffon eut un immense succès, à l'influence considérable : le premier volume (1749) s'ouvre sur deux discours dont le premier se nomme *De la manière d'étudier et de traiter l'Histoire Naturelle*, où il affirme que les vérités physiques,

« au lieu d'être fondées sur des **suppositions** », ne sont « appuyées **que sur des faits** » (p. 74).

Le second présente une *Histoire et théorie de la Terre*, le lieu de vie de ces animaux qui rendront l'ouvrage si célèbre. Après avoir passé en revue les théories précédant la sienne, il les qualifie d'hypothèses faites au hasard, portées sur des fondements ruineux :

« on a mêlé la **fable** à la Physique » (p. 92).

Or, dans ce domaine, il estime qu'un auteur,

« est fait **pour décrire et non pour inventer**, qu'il ne doit **se permettre aucune supposition**, et qu'il **ne peut** faire usage de son imagination **que pour combiner les observations, généraliser les faits**, et en former un ensemble qui présente à l'esprit un ordre méthodique d'idées claires et de rapports suivis et vraisemblables ; je dis **vraisemblables**, car il ne faut pas espérer qu'on puisse donner des démonstrations exactes sur cette matière, elles n'ont lieu que dans les sciences mathématiques, et nos connaissances en Physique et en Histoire Naturelle dépendent de l'**expérience** et se bornent à des **inductions**. » (p. 93).

Buffon paraît avoir bien enregistré la leçon de Newton, qui a dû en passer par l'abandon de l'accès à la certitude mathématique dans les sciences de la nature avant de se retrancher derrière les inductions.

Les *Époques de la Nature* (1778), texte considéré comme l'un des chefs-d'œuvre de Buffon, l'un des plus connus, au style grandiose et convaincant, commence par l'énoncé d'une série de faits,

« après quoi nous passerons aux **inductions** que l'on en doit tirer. » (p. 8).

Pour la cause de la chaleur du Soleil, « il m'a paru qu'on peut la **déduire des effets** naturels » : le poids et “l'action de la force pénétrante” des vastes corps qui gravitent autour (p. 88). En poussant ces *inductions* encore plus loin, dit-il (p. 94), le mouvement de la Lune doit donner de la chaleur à la Terre. Et pour se justifier, il en appelle bien aux faits :

« On m'a critiqué sans m'entendre ; que puis-je répondre ? Sinon que **tout parle à des yeux attentifs**, tout est indice pour **ceux qui savent voir** ; mais que rien n'est sensible, rien n'est clair pour le vulgaire, et même pour ce vulgaire savant qu'aveugle le préjugé. » (p. 95).

*Tout parle à des yeux attentifs* : c'est ce qu'on trouvait, en substance, dans les consignes pédagogiques d'Obré. Ici, donc, on doit “voir” que c'est la gravitation des planètes qui chauffe le Soleil comme celle de la Lune le fait pour la Terre...

Buffon fait aussi part de considérations méthodologiques dans la préface de sa traduction (1735) de la *Statique des végétaux* de Hales, et c'est cet écrit méthodologique qui servira à plusieurs reprises de référence à Pasteur (en 1879 notamment, voir partie 1.2.8.4.) :

« les vrais Physiciens ne peuvent s'empêcher de regarder les anciens **systèmes**, comme d'anciennes **rêveries**, et sont réduits à lire la plupart des nouveaux, comme on lit les Romains : les **recueils** d'Expériences et d'Observations sont donc les seuls Livres qui puissent augmenter nos connaissances ; **il ne s'agit pas, pour**

**être Physicien, de savoir ce qui arriverait dans telle ou telle hypothèse**, en supposant, par exemple, une matière subtile, des **tourbillons**, une **attraction**, etc. Il s'agit de bien savoir **ce qui arrive**, et de bien connaître ce qui se présente **à nos yeux** ; la connaissance **des effets** nous conduira insensiblement **à celle des causes**, et l'on ne tombera plus dans les **absurdités**, qui semblent caractériser tous les systèmes (...). **Amassons donc toujours des Expériences**, et éloignons-nous, s'il est possible, de tout esprit de système, du moins jusqu'à ce que nous soyons instruits (...) ».

Cette méthode, poursuit Buffon, est celle que l'auteur qu'il traduit (Hales) a suivie ; « c'est **celle du grand Newton** ». Mais Buffon l'attribue également à Bacon, ainsi qu'à Galilée et Boyle ;

« c'est celle que l'Académie des Sciences s'est faite une loi d'adopter, et que ses illustres membres Messieurs Huygens, de Réaumur, Boerhaave, etc. ont si bien fait et font tous les jours si bien valoir ; en un mot c'est la voie qui a conduit de tout temps, et qui conduit encore aujourd'hui les grands hommes ». (Buffon, 1735, *préface*).

Voltaire (1739), s'élevant contre les objections faites à la méthode newtonienne, cite Buffon en exemple :

« D'autres géomètres physiciens, et surtout celui qui a traduit la *Statique des végétaux* (...) embrassaient avec courage cette physique admirable, qui n'est fondée que sur les faits et sur le calcul, **qui rejette toute hypothèse**, et qui par conséquent est **la seule physique véritable** »<sup>202</sup>.

Buffon était pourtant vu très différemment par Condorcet, qui dit que Voltaire ne saurait avoir été jaloux...

...« de la combinaison plus ou moins adroite de quelques **vains systèmes démentis par les faits** »<sup>203</sup> !

Mais voyons de plus près ce que dit Hales, dans cette fameuse *Statique des végétaux* (1727)<sup>204</sup> qui transporte Buffon, Voltaire et plus tard Pasteur :

« Dans la philosophie naturelle, nous ne pouvons pas nous en rapporter à de simples spéculations de l'esprit ; nous ne pouvons raisonner avec quelque certitude que **d'après les données réelles** fournies par des **expériences nombreuses et bien faites**. »

Soit : c'est bien ce qu'en a retenu Buffon. Mais poursuivons la lecture de Hales :

« **D'un autre côté**, il n'est **pas déraisonnable**, pourvu qu'on ne s'abandonne pas trop, de **pousser les raisonnements un peu au delà des conclusions garanties par l'évidence claire et immédiate de l'expérience** ; car, puisqu'aux dernières limites des choses que nous voyons clairement nous apercevons en encore dans une espèce de crépuscule les rives d'une terre inconnue, il semble **raisonnable** de s'avancer jusque-là **par des conjectures, sans quoi nous ne ferions que des progrès bien lents** par l'expérience et pas le raisonnement.

Les nouvelles expériences et les découvertes doivent, en effet, **le plus ordinairement** naissance à d'**heureuses divinations** et à des **conjectures** probables, et il arrive même souvent que l'insuccès de ces conjectures **sert à faire trouver** ce qu'on cherche. »

Il n'a pas vu, ou pas voulu voir, cet autre côté, celui des heureuses divinations qui, même fausses, sont fructueuses, ainsi que l'avait déjà noté Sprat en 1667.

Hales, d'ailleurs, se prononce aussi sur les excès de Reid :

« Reid (...) a été entraîné à déployer un **zèle indiscret et exagéré contre toutes les spéculations** auxquelles le mot **hypothétique** est, de près ou de loin, applicable. » (*id.*, p. 298).

---

<sup>202</sup> Réponse aux objections principales qu'on a faites en France contre la philosophie de Newton (1739) in *Œuvres de Voltaire*, par M. Beuchot, tome 38, Lefèvre, 1830, p. 362.

<sup>203</sup> Condorcet (1787), *Vie de Voltaire*, 1994, Ed. Quai Voltaire, p. 152.

<sup>204</sup> Hales, S. (1727). *Statique des végétaux*, vol. 2, préface, in Stewart, D. (1814), p. 287.

Voltaire attribue à Buffon le rejet de toute hypothèse, mais celui-ci ne parvient pas à s'en passer. Le physiologiste Flourens (1843) le montre bien, un siècle après, mais avec beaucoup moins d'audience. Il pointe certaines des hypothèses que Buffon, malgré ses affirmations et son admiration pour Newton, mêle à ses expériences amassées :

« Buffon tient à deux époques, à deux esprits, à deux philosophies opposées. Il a, de la philosophie de Descartes, **le goût des hypothèses** ; il a, de la philosophie de Newton, le respect de l'expérience. (...) Je vais examiner le système sur la génération ; et ce que j'y cherche, c'est beaucoup moins l'opinion particulière de Buffon (...), que **Buffon lui-même**, c'est-à-dire que Buffon s'offrant à nous par un nouveau côté, que Buffon s'offrant à nous **quand il imagine un système**. Quatre idées principales, ou plus exactement, quatre **hypothèses** réunies constituent le système de Buffon. La première est l'hypothèse des *germes accumulés*, la seconde est celle des *moules intérieurs* ; la troisième est celle des *molécules organiques*, la quatrième est l'hypothèse, fort ancienne, mais renouvelée par lui, des *générations spontanées*. »<sup>205</sup>

Les exemples n'en sont pas rares non plus dans le récit que fait Buffon de l'histoire de la Terre : outre la chaleur du Soleil, il qualifie lui-même son idée de la formation des planètes par le choc d'une comète sur le Soleil d'*hypothèse* (p. 87), ainsi que celle qu'il avance sur le refroidissement de la Terre. Mazliak (2006, p. 242) rapporte même que Buffon voulait vérifier expérimentalement, dans les fours de ses forges, ses hypothèses sur la formation des montagnes et l'origine des gisements métallifères, en observant le refroidissement de boulets.

Pasteur, ne pouvant nier les contradictions de Buffon, les rapporte à l'époque :

« C'était encore le temps où l'on dissertait volontiers à perdre haleine sur des systèmes, sur des vues spéculatives. Il y avait en quelque sorte deux hommes d'un esprit opposé dans Buffon, l'un qui aujourd'hui avouera sans détours qu'il cherche une hypothèse pour ériger un système, et (l'autre) qui le lendemain écrira la belle préface de sa traduction de la *Statique des végétaux* de Hales, où la nécessité de l'expérience est placée à la hauteur qui convient. » (*Œuvres de Pasteur*, t. 2 p. 212).

Et pourtant Buffon, note Canguilhem,

« se comporte comme quelqu'un qui prétendrait écrire **sous la dictée même de la nature** » (1968, p. 343).

Il analyse ainsi l'origine prétendue de son concept de "moule intérieur", par lequel se maintient la forme de l'organisme en croissance :

« Buffon est persuadé de ne pas tomber dans la métaphysique en proposant une telle **hypothèse** (...). Buffon pense avoir **prouvé par les faits**, en **généralisant des expériences**, qu'il existe un nombre infini de parties organiques. En fait, Buffon **porte à l'actif de l'expérience** une certaine façon de lire l'expérience dont l'expérience est moins responsable que ne le sont les **lectures** de Buffon. Buffon a lu, étudié, admiré et traduit **Newton** » (Canguilhem, 1952, p.68).

L'engouement pour le maître anglais est devenu tel que chacun veut en être le fidèle porte-parole : Voltaire (1738), Hume (1739), Buffon (qui donne, en 1745, des *Réflexions sur la Loi de l'Attraction*). Buffon, note Canguilhem, porte ombrage à Voltaire, qui voulait en avoir le monopole :

« Voltaire ne loua jamais Buffon sans réserves » (1952, p. 68).

Chacun s'arrache son Newton.

**Laplace (1749-1827), le "Newton français".**

---

<sup>205</sup> Flourens, P. (1843). « Système de Buffon sur la génération ». *Journal des savants*, juillet 1843, p. 404-415.

« Fallait-il donc que la centenaire de la mort de Newton fut marquée par la fin d'un de ses plus illustres successeurs, de **celui que l'Angleterre et la France ont si souvent nommé le Newton français**, comme pour exprimer à la fois la gloire des deux nations ! »<sup>206</sup>

Laplace, « après avoir parcouru le ciel de Newton, et y avoir inscrit son nom à côté de son prédécesseur »<sup>207</sup>, disparaît en effet juste un siècle après lui. Dans ce ciel, pour remettre sur leur orbite des planètes déviantes, le Dieu de Newton devait intervenir de temps à autres : Laplace, démontrant la stabilité du système solaire sans une telle intervention régulatrice divine, pourra évincer cette idée, fort conjecturale, et répondre à Napoléon, comme le rapporte Victor Hugo<sup>208</sup> :

« Sire, je n'avais pas besoin de cette **hypothèse**. »

Une hypothèse, donc, newtonienne.

Le Newton français nous intéresse par ses préceptes méthodologiques, qu'il eut pour dessein de transmettre aux instituteurs de l'an III, pour qui il alla jusqu'à rédiger sa célèbre *Exposition du système du Monde* (1796) : nous le retrouverons donc à cette occasion (partie 1.3.2.).

**Ampère (1775-1836), le “Newton de l'électricité”.**

**Le verbe se fit homme, il s'appela Newton ;  
Il vint, il révéla le principe suprême,  
Constant, universel, un comme Dieu lui-même.  
Les mondes se taisaient, il dit : Attraction !  
Ce mot, c'était le mot de la création.**

...

**À ces mondes perdus dont son génie est roi,  
D'ici Newton leur maître impose encor sa loi !**

*Contemplation* (1835),  
Jean-Jacques Ampère (fils du physicien).

1827, c'est aussi le moment où Ampère, “Newton de l'électricité” selon James Clerck Maxwell et “champion de l'induction”, rassemble ses travaux dans une œuvre nommée *Théorie mathématique des Phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience*<sup>209</sup> : la fin du titre est tout un programme !

Duhem rapporte :

« Personne, après Newton, n'a, plus nettement qu'Ampère, déclaré que toute théorie physique se devait tirer de l'expérience par la seule induction » (1906, p. 297).

Ampère débute par un hommage à Newton, et à sa méthode :

« L'époque que les travaux de Newton ont marquée dans l'histoire des sciences n'est pas seulement celle de la plus importante des découvertes que l'homme ait faites sur les causes des grands phénomènes de la nature, c'est aussi l'époque où **l'esprit humain s'est ouvert une nouvelle route dans les sciences** qui ont pour objet l'étude de ces phénomènes. » (1827, p. 175).

Il décrit ainsi cette “nouvelle route” :

---

<sup>206</sup> Discours S.-D. Poisson aux funérailles de Laplace, *Journal des savants*, mars 1827, p. 186.

<sup>207</sup> Discours J.-B. Biot aux funérailles de Laplace, *Journal des savants*, mars 1827, p. 187.

<sup>208</sup> *Choses vues, in Œuvres complètes, Histoire*, Robert Laffont - Bouquins, 1987, p.686.

<sup>209</sup> Mémoires de 1820 à 1825 réunis dans les *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de l'Institut de France*. Année 1823. Tome VI, Firmin Didot, père et fils, 1827, p. 175-387.

« **Observer d'abord les faits**, en varier les circonstances autant qu'il est possible, accompagner ce premier travail de mesures précises pour en **déduire des lois** générales, **uniquement fondées sur l'expérience**, et déduire de ces lois, **indépendamment de toute hypothèse** sur la nature des forces qui produisent les phénomènes, la valeur mathématique de ces forces, c'est-à-dire la formule qui les représente, telle est **la marche qu'a suivie Newton**. » (*Id.*, p. 176).

Ampère déclare que cette méthode “a été, en général, adoptée en France”, et que c'est elle qui lui a servi de guide dans toutes ses recherches :

« **J'ai consulté uniquement l'expérience** pour établir les lois de ces phénomènes » (p. 177).

Mais cette démarche, « la seule qui puisse conduire à des résultats **indépendants de toute hypothèse** », n'est pas, déplore-t-il, préférée par les physiciens du reste de l'Europe comme elle l'est par les Français (p. 177). Or Ampère va se rendre célèbre par ses travaux conduits à partir de l'expérience du danois Oersted qui, en 1820, pendant un cours devant ses étudiants, constate la déviation d'une aiguille aimantée au voisinage d'un courant électrique : il critique l'interprétation qu'en fait Oersted, « précisément comme **Descartes** faisait tourner la matière de ses tourbillons », tandis que lui-même est resté « guidé par les principes de la philosophie **newtonienne** » (p. 178). Mais comme il décompose le courant électrique en éléments infiniment petits qu'aucune observation n'impose, qu'il fait en outre diverses suppositions s'appuyant sur une expérience fondamentale pour laquelle il dit, à la fin de son ouvrage (p. 373), qu'il n'a pas encore construit l'appareil permettant de la réaliser, Duhem (1906, p. 302) n'a pas de peine à montrer combien il s'écarte du schéma newtonien dont il se réclame.

Chevreul, l'ami d'Ampère, avait aussi relevé que celui-ci croyait suivre une voie inductive, mais se laissait emporter par son imagination. Henri Poincaré le relève également :

« Nous verrons (...) quelles **hypothèses inconscientes** faisaient Ampère et les autres fondateurs de l'électrodynamique » (1902, introduction).

### **Magendie (1783-1855), le chiffonnier des faits.**

Claude Bernard raconte (1856, p. 12-13) comment son maître Magendie aimait à lui rappeler son attachement à la récolte des faits : chacun, disait-il, se compare à quelque chose de plus ou moins grandiose,

« quant à moi, je suis beaucoup plus humble, je me compare à un simple **chiffonnier** : avec mon crochet à la main et ma hotte sur le dos, je parcours le domaine de la science, et **je ramasse** ce que je trouve. »

« Il redoutait, poursuit Cl. Bernard, les tentatives d'une généralisation prématurée ; il pensait que celle-ci se faisait très facilement, et pour ainsi dire toute seule, quand le nombre des **faits** était suffisant. »<sup>210</sup>

Il était “**nourri aux apports de Laplace**”, le “Newton français”.

Magendie accusait Bichat de s'être abandonné à des hypothèses, et lui-même, dit Claude Bernard,

« avait une **horreur particulière de l'esprit d'hypothèses** et de systèmes et il a recommandé toute sa vie d'expérimenter **sans idée préconçue**, c'est-à-dire de faire des *expériences empiriques*. » (*Principes*, p. 57).

Selon François Dagognet,

« Il se méfiait “extraordinairement du raisonnement” et se bornait (...) à **entasser les faits** les plus hétéroclites »<sup>211</sup>.

<sup>210</sup> Bernard, C. (1856). *Leçon d'ouverture du cours de médecine du Collège de France*, Baillière, p. 12-13.

<sup>211</sup> Préface de l'*Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Garnier Flammarion, 1966, p. 17-18.

Ce qui fit écrire à Anatole France, qui affirme au contraire que “toute expérience suppose une **hypothèse préalable** que cette expérience a pour **but de vérifier**” :

« Le naturalisme, s’interdisant toute hypothèse, n’a aucune expérience à faire. Le chef de cette école littéraire, qui parle tant d’expériences, rappelle à cet égard un physiologiste fort connu dans l’histoire des sciences ; le bonhomme Magendie, qui expérimenta beaucoup sans aucun profit. Il **redoutait les hypothèses** comme des causes d’erreur. Bichat avait du génie, disait-il, et il s’est trompé. Magendie ne voulait pas avoir de génie, de peur de se tromper aussi. Or, il n’eut point de génie et ne se trompa jamais. Il ouvrait tous les jours des chiens et des lapins, mais sans aucune idée préconçue, et il n’y trouvait rien, pour la raison qu’il n’y cherchait rien. (...) Claude Bernard, qui succéda à Magendie, **rendit ses droits à l’hypothèse**. Il avait l’imagination grande et l’esprit juste. Il **supposait** les choses et les **vérifiait** ensuite, et il fit de vastes découvertes. Si **l’hypothèse est nécessaire** dans l’ordre scientifique, on ne croira pas qu’elle soit funeste dans l’ordre littéraire » (“Une Théorie du roman”, 1888)<sup>212</sup>.

Claude Bernard raconte, dans son *Cahier rouge*, ses années de formation auprès de Magendie : “Pour bien critiquer, il faut avoir erré”, écrit-il, parlant de sa propre errance sous le régime auquel le soumettait son maître :

« Magendie n’avait **pas d’idées générales** ; (...) il ne faisait que répéter : “**expérimentez !**” (...) Alors donc j’ai expérimenté, erré à l’aventure dans ma sublime ignorance. (...) et maintenant je suis fixé. » (p. 25).

« Magendie, mon maître (...) **attaque les rêveurs et les spéculateurs** qui se contentent de raisonnement et, pour mieux les supprimer, il dit : “**Ne raisonnez pas, expérimentez**”, et pendant quarante ans il a répété la même chose. (...) Mais l’esprit de Magendie et le temps où il est venu lui ont fait jouer un **rôle plutôt destructeur** » (p. 27-28).

L’élève prend le contrepied du maître :

« Aujourd’hui je n’en suis pas venu, comme Magendie, à me passer d’**idées préconçues**, mais **j’en ai toujours de rechange deux ou trois** » (p. 52).

Mettre en avant ses idées préconçues n’est pourtant pas alors ce qu’il y a de mieux vu : Lalande (1929, p. 87-88) rapporte la leçon d’ouverture universitaire du physicien Paul Janet en 1886, dans laquelle il interroge :

« pourquoi donc aujourd’hui, tant d’esprits distingués s’attachent-ils à ces **hypothèses inutiles et incertaines** qui ne font qu’embarrasser la science ? »

Ce qui, dit Lalande, témoigne de l’esprit qui dominait à cette époque dans la jeune génération des physiciens français dont il se trouvait lui-même le contemporain.

### **Hume, le “Newton du monde psychique”<sup>213</sup>.**

L’influence de Newton se fait même sentir hors du champ des sciences, puisque David Hume veut, par exemple, transposer sa méthode à l’étude de l’homme : *Traité de la nature humaine* (1739), *an attempt to introduce the **experimental method** of reasoning into moral subjects*<sup>214</sup>, qui nous paraît être la première occurrence du terme “méthode expérimentale”.

Il précise ce qu’il souhaite :

« éviter cette erreur, où tant sont tombés, d’imposer au monde leurs **conjectures** et **hypothèses** comme [si c’étaient] les principes les plus certains. » (Livre II, *introduction*).

<sup>212</sup> « Une Théorie du roman », *Le Temps* du 25 nov. 1888, repris sous le titre « La Tresse blonde » dans *La Vie littéraire*, 2<sup>e</sup> série, Calmann-Lévy, 1890, p. 301-306.

<sup>213</sup> C’est ce qu’il cherchait à être selon Canguilhem, 1952, p. 67-68.

<sup>214</sup> Une tentative pour introduire la **méthode expérimentale** de raisonnement dans les sujets moraux.

Dans un *Abrégé* destiné à en faire la promotion de son traité, Hume parle de “l’auteur” (lui-même) comme d’un adepte de la position newtonienne :

« Notre auteur (...) propose de disséquer la nature humaine de façon ordonnée, et promet de ne tirer de conclusions que là où il y est **autorisé par l’expérience**. Il parle avec **mépris des hypothèses** ; et il insinue que ceux de nos compatriotes qui les ont **bannies** de la philosophie morale, ont rendu au monde un plus notable service que *Mylord Bacon*, qu’il considère comme le père de la physique expérimentale. » (1740, I, 2).

Quoi qu’il en dise, dans le *Traité* lui-même, il utilise diverses hypothèses qu’il met à l’épreuve, ne pouvant pas davantage s’en abstenir que Newton :

« Il suffira, **pour prouver cette hypothèse** à la satisfaction de tout enquêteur de bonne foi, de montrer, à **partir de l’expérience et de l’observation** quotidiennes, que les objets variables ou interrompus, qui sont **supposés** demeurer identiques, sont seulement ceux qui se composent (...) »  
(What will suffice to **prove this hypothesis** to the satisfaction of every fair enquirer, is to shew from daily experience and observation, that (...)) (livre I, IV, VI).

Puis il conclut :

« Tant qu’on souffrira qu’on entre en philosophie avec une **imagination** brûlante et que des **hypothèses** soient embrassées **simplement** parce qu’elles sont spécieuses et agréables, nous ne pourrions jamais avoir de principes fermes ni de sentiments qui s’accordent avec la pratique courante et **l’expérience**. Mais, **une fois ces hypothèses écartées**, nous pourrions espérer établir un système, un ensemble d’opinions qui, à défaut d’être vraies (car c’est peut-être trop espérer) pourraient du moins satisfaire l’esprit humain et **résister à l’épreuve de l’examen** le plus critique. » (livre I, *conclusion*).

David Hume, estime Dugald Stewart (1803, p. 19-20), n’est cependant pas parvenu en 1739 à appliquer aux sciences morales la méthode de Newton, mais Thomas Reid, poursuivant le même idéal, le réalise à partir de 1764 :

« ce qui distingue ses ouvrages de la manière la plus nette et la plus caractéristique, c’est qu’ils offrent le premier essai rigoureux qu’on ait fait pour appliquer à l’étude de la nature humaine **le procédé d’investigation qui conduisit Newton** à la découverte des propriétés de la lumière et des lois de la gravitation. C’est dans une **ferme adhésion à cette méthode**, et non dans la supériorité d’aucune faculté inventive, qu’il fait lui-même consister tout son mérite comme philosophe, et il semble, avec une modestie qu’on pourrait taxer d’exagération, abandonner la palme de ce qu’on appelle le génie, aux **auteurs des systèmes qu’il se proposait de réfuter**. » (Dugald Stewart *Vie de Reid*, 1803, p. 19).

Comme le signale Larry Laudan<sup>215</sup>, Thomas Reid a contribué, en s’appuyant sur Newton, à convaincre toute une génération que “les faits parlent d’eux-mêmes”.

### 1.2.6.5. Vers le positivisme

Le newtonianisme triomphant inspire également le comte de Saint-Simon, le fondateur de la sociologie (selon Durkheim), qui dès 1802 prend Newton en référence absolue et veut faire de la gravitation universelle une nouvelle religion. Le *positivisme* que développera son secrétaire, Auguste Comte, sera marqué par une relation assez particulière aux hypothèses, et le *néo-positivisme*, les repoussant dans le domaine de la métaphysique, les refusera. Or le positivisme aura une influence non négligeable sur les concepteurs des instructions officielles du XIX<sup>e</sup> siècle, et les récents rédacteurs du “socle commun des connaissances et des compétences” (2006) montrent, consciemment ou non, une vision de la démarche scientifique très proche de celle des néo-positivistes que combattit Popper.

---

<sup>215</sup> Laudan, L. (1970). "Thomas Reid and the Newtonian Turn of British Methodological Thought," in Butts R.E. and Davis J.W. (ed., 1970). *The Methodological Heritage of Newton*, University of Toronto Press, 103-31.

## **Saint-Simon (1760-1825), grand prêtre du dieu Newton.**

Saint-Simon pousse loin sa déférence envers Newton, puisque dans ses *Lettres d'un habitant de Genève à ses contemporains* (1802), il lance :

« Ouvrez une souscription devant le tombeau de **Newton** » ;  
« La morale également a ses lois positives qui peuvent être démontrées par **la méthode scientifique**. »

Il raconte que Dieu lui dit en rêve :

« Apprends que j'ai placé **Newton** à mes côtés, que je lui ai confié la direction de la lumière et le commandement des habitants de toutes les planètes. La réunion des vingt et un élus de l'humanité prendra le nom de **conseil de Newton** ; le conseil de Newton me représentera sur la terre » (1802, p. 140).

Il y aura des temples à Newton...

L'espèce humaine est considérée comme un seul être vivant, et son étude :

« une **physiologie sociale**, constituée par les **faits matériels** qui **dérivent de l'observation directe** de la société ». (1813b, p.29).

Saint-Simon décrit les progrès ayant conduit à cette méthode (en commençant par l'astronomie, mais il dit voir le même trajet dans les autres sciences) :

« Dans le commencement des travaux astronomiques, l'homme *mêlait les faits qu'il observait* avec **ceux qu'il imaginait**, et dans ce galimatias élémentaire, il faisait les meilleures combinaisons qu'il pouvait pour satisfaire toutes les demandes de prédiction ; il s'est successivement **débarrassé des faits créés par son imagination**, et, après bien des travaux, il a fini par adopter une **marche certaine** pour perfectionner cette science. Les astronomes n'ont plus **admis que les faits constatés par l'observation** ; ils ont *choisi* le système qui les liait le mieux, et, depuis cette époque, ils n'ont plus fait faire de faux pas à la science. » (1802)<sup>216</sup>.

Il oppose les sciences *conjecturales* ou *métaphysiques*, qu'il rejette, aux sciences *positives* qui sont *fondées sur des observations* : Saint-Simon adopte le terme de positivisme, qui sera popularisé en philosophie par Auguste Comte.

« Toutes les sciences ont commencé par être **conjecturales** ; le grand ordre des choses les a appelées toutes à devenir **positives**. » (1813a, p.39).

La référence à Newton est également présente dès l'avertissement du *Cours de philosophie positive* d'Auguste Comte (1830) :

« Il y a, sans doute, beaucoup d'analogie entre ma *philosophie positive* et ce que les savants anglais entendent, **depuis Newton** surtout, par *philosophie naturelle*. »

C'est l'époque où se produit, en Europe, une sorte de "renversement épistémologique" : alors que l'Angleterre faisait jusqu'alors figure de représentante d'une tradition empiriste en partie héritée de Bacon, tandis que "l'esprit français" était considéré comme naturellement spéculateur avec Descartes comme figure de proue, c'est en France, notamment sous l'influence d'Auguste Comte et du positivisme, que s'implante le culte du fait et de l'expérience, qui est celui d'une « majorité de savants, particulièrement de ceux qui, surtout expérimentateurs, **se méfiaient des théories** »<sup>217</sup> : les physiciens français reçoivent avec réticence les théories développées en Allemagne et en Angleterre, spéculations considérées comme trop hypothétiques. La réaction anticartésienne se fait sentir.

<sup>216</sup> In Hubbard, M. G. (1857). *Saint-Simon, sa vie et ses travaux*, Guillaumin, p. 133.

<sup>217</sup> Picard, E. (1914). *La science moderne et son état actuel*, Flammarion, p. 12-13, cité in Kahn, 2000, p. 15.

L'objectif des positivistes, sans doute, est louable, puisqu'il s'agit de se concentrer sur la physique et les sciences en ignorant la métaphysique, sur laquelle on estime impossible de se prononcer, et tout ce qui peut être occulte :

« L'astronomie a commencé par être de l'astrologie ; la chimie n'était à son origine que de l'alchimie ; la physiologie qui, pendant longtemps, a nagé dans le charlatanisme, se base aujourd'hui sur des **faits observés et discutés** ; la psychologie commence à se baser sur la physiologie et à se débarrasser des **préjugés religieux** sur lesquels elle était fondée.

Les sciences ont commencé par être conjecturales, parce qu'à l'origine des travaux scientifiques il n'y avait encore que peu d'**observations** faites, que le petit nombre de celles qui avaient été faites n'avaient pas eu le temps d'être examinées, discutées, vérifiées par une longue expérience, et que ce n'étaient **que des faits présumés, des conjectures**. Elles ont dû, **elles doivent devenir positives** » (Saint-Simon, 1813a, p. 39).

« À partir de cette époque les astronomes sont devenus modestes, bons gens, ne cherchant plus à paraître savoir ce qu'ils ignoraient, et que de votre côté vous avez cessé de leur faire la demande impertinente de **lire votre destinée dans les astres** » (Saint-Simon, 1802, p. 133).

Mais avec les entités occultes de la métaphysique, légitimement repoussées, les positivistes veulent chasser hors du domaine de la science le travail de l'imagination.

Pour Comte, il faut quitter "l'état théologique" et "l'état métaphysique" pour entrer dans l'"état positif". Dans sa première leçon du *Cours de philosophie positive* (1830, p. 62), il fixe le moment de rupture à l'époque de

« l'action combinée des préceptes de **Bacon**, des conceptions de **Descartes**, et des découvertes de **Galilée**, (...) en opposition évidente avec l'esprit théologique et **métaphysique** »,

retenant de Descartes l'appel à la raison et non la construction de son système.

La "règle fondamentale" est la suivante :

« toute proposition qui n'est pas strictement réductible à la simple énonciation d'un **fait**, ou particulier ou général, ne peut offrir aucun sens réel et intelligible ».

Ainsi,

« la pure **imagination** perd alors irrévocablement son antique suprématie mentale » (1844, p. 138).

La raison humaine, dans son enfance, devait en passer par "les attrayantes chimères de l'astrologie" et les "énergiques déceptions de l'alchimie", mais désormais :

« notre activité intellectuelle est suffisamment excitée par le pur espoir de découvrir les **lois** des phénomènes » (1830, p. 57).

Ainsi, pour la gravitation, s'en tiendra-t-on à la *loi*, sans se perdre dans des élucubrations, que Newton nomme *hypothèses*, sur ce que pourrait bien être sa *cause*.

### **Le comment et le pourquoi.**

Diderot, avant les positivistes, distinguait le *comment* du *pourquoi* :

« Le physicien dont la profession est d'instruire et non d'édifier abandonnera donc le **pourquoi**, et ne s'occupera que du **comment**. Le *comment* se tire des êtres ; le *pourquoi*, de notre entendement ; il tient à nos systèmes (...). Combien d'idées absurdes, de suppositions fausses, de notions chimériques dans ces hymnes que quelques défenseurs téméraires des **causes finales** ont osé composer à l'honneur du Créateur ? ». (1753, § 56.2, *Des causes finales*).

Diderot, qui écrit ce passage après s'être demandé si les zones pileuses du corps ont vraiment leur cause dans "la pudeur de la nature", savait rejeter les explications par les causes finales. Une distinction similaire existait chez Descartes, entre le "par quel moyen" et le "pour quelle fin", terminologie qui évite l'ambiguïté du mot "pourquoi" :

« Qu'il ne faut point examiner **pour quelle fin** Dieu a fait chaque chose, mais seulement **par quel moyen** il a voulu qu'elle fût produite. (...) nous rejeterons entièrement de notre philosophie la recherche des causes finales ; (...) nous tâcherons seulement de trouver (...) **comment** [les choses] ont pu être produites » (1644, I, 28).

On oublie souvent que le centrage sur la recherche du *comment* et le délaissement de celle du *pourquoi* ne concernait, chez Diderot, que le *pourquoi* des causes finales. Cela n'empêchait pas celui-ci, bien au contraire, d'accueillir temporairement les hypothèses, et de savoir les traiter, ainsi que d'admettre son ignorance sans pour autant se satisfaire des lois : la dernière phrase de ses *Pensées sur l'interprétation de la nature* (1753) est :

« si l'on te propose ces difficultés, je te conseille d'aller chercher la réponse **chez quelque newtonien** ; car je t'avoue que j'ignore comment on les résout. »

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, le *positivisme logique* (ou empirisme logique ou néo-positivisme), que représente le *Cercle de Vienne*, reprendra et adaptera ces thèses, délaissant aussi les dieux et les causes mystérieuses pour expliquer les phénomènes, mais sans laisser de place à l'imaginaire et à l'hypothèse.

Mais W. Whewell (1840b, XII, XVI) et J.S. Mill (1843-65, III, XIV, 4), à la même époque que Comte, récusent cette vision purement "légaliste" de la science et la souhaitent également causale, rejetant avec force l'interdit newtonien sur les hypothèses : ils représentent, malgré leurs désaccords, des penseurs indépendants qui surent résister à la vague générale, à l'instar de Diderot et de son ami Condillac au siècle précédent.

## 1.2.7. Les défenseurs de l'hypothèse au XVIII<sup>e</sup> siècle

Je parviens au pied d'une tribune à laquelle une grande toile d'araignée servait de dais. (...)

- Qui êtes-vous ? Où suis-je ? Et qui sont tous ces gens ? Lui demandai-je sans façon.

- Je suis Platon, me répondit-il. **Vous êtes dans la région des hypothèses**, et ces gens-là sont des systématiques.

(...) J'entrevis dans l'éloignement un enfant qui marchait vers nous à pas lents mais assurés. (...) Je le vis diriger vers le ciel un long **télescope**, estimer à l'aide d'un **pendule** la chute des corps, constater avec un **tube** rempli de mercure la pesanteur de l'air, et, le **prisme** à la main, décomposer la lumière.

- Quelle est, demandai-je à Platon, cette figure gigantesque qui vient à nous ?

- **Reconnaissez l'Expérience**, me répondit-il ; c'est elle-même. À peine m'eut-il fait cette courte réponse, que je vis **l'Expérience approcher et les colonnes du portique des hypothèses chanceler**, ses voûtes s'affaïsser et son pavé s'entrouvrir sous nos pieds.

- Fuyons, me dit encore Platon ; fuyons ; cet édifice n'a plus qu'un moment à durer. À ces mots, il part ; je le suis. Le colosse arrive, frappe le portique, il s'écroule avec un bruit effroyable, et je me réveille.

Diderot, *Voyage dans la région des hypothèses. Les Bijoux indiscrets* (1748), ch. XXXII.

### 1.2.7.1. Le flambeau brandi par Diderot

Diderot montre l'influence qu'il subit de Bacon dans le titre même de son ouvrage sur la méthode, les *Pensées sur l'interprétation de la nature* (1753), qui se réfère à une définition baconienne :

« (...) pour plus de clarté, nous nommerons (...) *interprétation de la nature* cette raison qui est tirée des choses, selon la méthode exigée. » (1620, I, 26).

Bacon prônait, comme voie du milieu, celle de l'abeille, et voici Diderot :

« Tout se réduit à revenir des sens à la réflexion, et de la réflexion aux sens (...) : c'est **le travail de l'abeille**. On a battu bien du terrain en vain, si on ne rentre pas dans la ruche chargée de cire. On a fait bien des amas de cire inutile, si on ne sait pas en former des rayons. » (§9).

Il règle leur compte aux folles spéculations tout comme à l'empirisme stérile :

« Mais par malheur il est plus facile et plus court de se consulter soi que la nature » (§10).

« L'intérêt de la vérité demanderait que **ceux qui réfléchissent daignent enfin s'associer à ceux qui se remuent**, afin (...) que le manœuvre eût un but dans les mouvements infinis qu'il se donne ». (§1).

C'est un ouvrage à vocation pédagogique, puisque destiné "aux jeunes gens qui se disposent à l'étude de la philosophie naturelle", qui s'ouvre sur cette injonction : "jeune homme, prends et lis", harangue qui s'achève par :

« P.S. Encore un mot, et je te laisse. Aie toujours présent à l'esprit (...) qu'une *hypothèse* n'est pas un *fait* ».

Diderot, dans l'*Encyclopédie*, caricaturait l'empirisme obtus comme le rationalisme débridé :

« l'expérience marchant pied à pied, et l'esprit de système allant toujours par sauts et par bonds » (1751, article *Animal*).

Il décrit la marche du savant dès 1749, dans la *Lettre sur les aveugles*, et nous pouvons lui appliquer la même analyse qu'au texte de Rohault (ajouts [entre crochets]) :

« Ces choses perdront beaucoup de leur merveilleux, si vous considérez, Madame, qu'il y a trois choses à distinguer dans toute question mêlée de physique et de géométrie : le phénomène à expliquer [**problème**], les suppositions du géomètre [**hypothèses**] et le calcul qui résulte des suppositions [**déductions**]. » Pour que le physicien puisse en préférer certaines à d'autres, « il faudrait qu'il pût comparer les suppositions mêmes avec les phénomènes [**expériences**] », ce qui conduit alors, « par la contrariété qui se trouve entre le **résultat** et le phénomène », à « exclure les hypothèses fausses [**conclusions**] »<sup>218</sup>.

L'ensemble de la procédure est clairement exposé, et résumé en 1753 par des formules aussi lapidaires que talentueuses :

« (...) l'**observation** recueille les faits, la **réflexion** les combine, l'**expérience** vérifie les résultats de la combinaison » (§15).

Et pour enfoncer le clou :

« Combien de **conjectures** à former d'imagination, et à **confirmer ou détruire par l'expérience** ! » (§34).

Ainsi que l'estiment P. Duris et G. Gohau dans leur *Histoire des sciences de la vie*,

« Diderot est le premier à poser **les fondements d'une vraie démarche expérimentale** » (1997, p. 103). »

Pour L. Versini (1994, p. 8),

« L'ouvrage définit, un siècle avant Claude Bernard, la méthode expérimentale et ses **trois temps** : **observation, hypothèse, vérification** par l'expérience ».

Diderot est ici remarquable, car il écrit à une époque où le newtonianisme fait fureur, et où on croit, de ce fait, devoir fuir les hypothèses et ne s'en référer qu'à l'expérience. Or, tandis que c'est là la tendance de d'Alembert et que Diderot n'ignore en rien la déchéance des fictions cartésiennes, dans la page même où il cite l'expérience de Newton sur la décomposition de la lumière, il maintient malgré tout un équilibre entre ce qu'il nomme *philosophie rationnelle* et *philosophie expérimentale* (§23), chacune isolément étant relativement vaine. La première est celle d'"orgueilleux architectes" ; la seconde,

« (...) les yeux bandés, marche toujours en tâtonnant, saisit tout ce qui lui tombe sous la main ».

Mais tout de même, elle « rencontre à la fin des choses précieuses ».

L'avantage de cette dernière étant qu'à force de remuer, elle trouve, mais elle le fait à l'image de ce père qui ayant dit en mourant qu'un trésor était caché dans son champ, conduit ses enfants à le bêcher en tous sens, favorisant une abondante récolte (§28), nouvel emprunt à Bacon qui utilisait déjà cette fable d'Esopé à propos des alchimistes (1605 p. 39 et 1620 p. 146). Poursuivant la fable (§29), Diderot en fait un véritable conte épistémologique : l'un des fils se dit qu'il doit y avoir des indices quelque part et, examinant le terrain, découvre des traces de sol remué : ils creusent et trouvent une mine de "qui leur produit beaucoup".

« Telle est quelquefois la suite des expériences **suggérées par les observations et les idées** systématiques de la philosophie rationnelle ».

De même quelquefois les savants,

« en s'opiniâtrant à la solution de problèmes peut-être impossibles, sont parvenus à des découvertes plus importantes que cette solution » (§29).

Un cheminement confirmé par de nombreux exemples dans l'histoire des sciences.

---

<sup>218</sup> *Lettre sur les aveugles, Œuvres* tome I, Robert Laffont, 1994, p. 162-163.

Il évoque ainsi la ruine de l'édifice cartésien :

« Mais le temps a **renversé** jusqu'aujourd'hui presque tous les édifices de la **philosophie rationnelle**. Le manœuvre poudreux apporte tôt ou tard, des souterrains où il creuse en aveugle, le **morceau fatal** à cette architecture élevée à force de tête ; elle s'écroule, et il ne reste que des matériaux confondus pêle-mêle » (§21).

On voit qu'à la fois "la force de tête" n'est pas suffisante, et que le manœuvre poudreux *creuse en aveugle*, ce qui montre que Diderot, loin de quitter l'édifice branlant de la raison pure pour se jeter dans les bras d'un empirisme ténébreux, en appelle à une raison qui dirige le manœuvre, qui cherche à deviner avant d'entreprendre. En témoigne cet extrait concernant l'enseignement et la formation de l'esprit scientifique, et quelle devrait y être la priorité d'instructeurs scientifiques :

« le service le plus important qu'ils aient à rendre à ceux qu'ils initient à la philosophie expérimentale, c'est bien moins de les instruire du procédé et du résultat, que de faire passer en eux **cet esprit de divination par lequel on subodore**, pour ainsi dire, des procédés inconnus, des expériences nouvelles, des résultats ignorés. » (§30).

Plutôt que protocoles ou résultats,

« Voilà l'espèce de divination **qu'il faut apprendre aux élèves**, si toutefois cela s'apprend » (§32).

La lecture du *Voyage dans la région des hypothèses*, où Diderot montre comment l'Expérience renverse les hypothèses, pourrait y contribuer.

### **Bataille dans les pages de l'Encyclopédie.**

D'Alembert, qui cherche à démontrer que toutes nos connaissances proviennent des sens, en vient à faire, justement, un « voyage au pays des hypothèses ». Et ceci dans un texte majeur, puisqu'il s'agit de rien de moins que du *Discours préliminaire de l'Encyclopédie* (1751), introductif à l'ouvrage monumental du XVIII<sup>e</sup> siècle, symbole de l'œuvre des Lumières et synthèse des connaissances du temps. La première de ses 18 000 pages s'ouvre sur cet objectif :

« (...) le premier pas que nous ayons à faire ; (...) remonter jusqu'à l'origine et à la génération de nos idées. »

Or, d'Alembert raisonne comme suit :

« Toutes nos connaissances directes **se réduisent** à celles que nous **recevons par les sens** ; d'où il s'ensuit que **c'est à nos sensations que nous devons toutes nos idées**. »

L'apparente déduction ("il s'ensuit") est étonnante, puisqu'il n'y a rien de plus dans le second corps de phrase que dans le premier. Il poursuit :

« Rien n'est plus incontestable que l'existence de nos sensations ; ainsi, **pour prouver qu'elles sont** le principe de nos connaissances, **il suffit** de démontrer qu'elles **peuvent l'être** : car, en bonne philosophie, toute déduction qui a pour base des faits ou des vérités reconnues, est **préférable à ce qui n'est appuyé que sur des hypothèses**, même ingénieuses. »

Affirmations fort surprenantes, qui démontrent surtout le malaise de d'Alembert vis-à-vis des hypothèses. Du fait que des choses *peuvent être*, cela suffirait à prouver *qu'elles sont* : "en bonne philosophie", ce n'est pas soutenable, et c'est même l'affirmation contraire qui est classique dans les manuels médiévaux de logique et dont Newton s'est servi pour contester à Hooke l'importance d'avoir énoncé avant lui son hypothèse sur la gravitation (*a posse ad esse non valet consequentia* : de *pouvoir être* à *être* il n'y a pas conséquence, voir partie 1.2.6.2.).

D'Alembert commet ici une abduction, qui permet de privilégier la "déduction qui a pour base des faits" à tout appui sur une hypothèse.

Véronique Le Ru, analysant ce genre d'inférences chez d'Alembert (1994, p. 140-142), y voit un "tour de passe-passe" contestable : « qui plus est, la légitimité de l'hypothèse se fonde sur un déni des hypothèses », dans la mesure où l'hypothèse examinée, "nos connaissances proviennent des sens", est déclarée vraie puisque toute autre hypothèse, n'étant qu'hypothèse, est à écarter... d'Alembert peut alors poursuivre :

« Ce n'est donc **point par des hypothèses** vagues et arbitraires que nous pouvons espérer de connaître la nature, c'est par l'étude réfléchie des **phénomènes** » ;

« La seule ressource qui nous reste donc (...), c'est **d'amasser le plus de faits** qu'il nous est possible, de les disposer dans l'ordre le plus naturel ».

Des affirmations qui, comme nous l'avons vu, décrivent très bien les pratiques scolaires actuelles.

D'Alembert nuancera tout de même quelque peu son propos, en signalant, sans y insister, l'engouement pour la seule observation : « on abuse des meilleures choses », dit-il,

« Cet esprit philosophique, si à la mode aujourd'hui, qui veut **tout voir et ne rien supposer**, s'est répandu jusque dans les belles-lettres ».

Il précise ses vues quelques années plus tard dans l'article *experimental* de l'*Encyclopédie* (vol. 6, 1756), donnant comme moyens de connaissance l'observation et l'expérience, sans faire, contrairement à Diderot, une grande place à l'hypothèse.

« Des **faits bien vus** et bien rapprochés », et non les fictions, « **le roman** des faits **supposés** qu'on **devine** bien ou mal, sans les chercher ni les voir. »

Il s'oppose là terme à terme aux propos de son confrère, puisque Diderot voulait non seulement qu'on utilise, mais de surcroît qu'on apprenne aux élèves cet *esprit de divination*.

Les plus sages des Anciens ont même, selon d'Alembert, « fait, pour ainsi dire, la **table** de ce qu'ils voyaient », anticipant sur les tables baconiennes. L'observation, « par la curiosité qu'elle inspire et par les vides qu'elle laisse », mène à l'expérience, et l'expérience ramène à l'observation pour remplir ces vides :

« (...) ainsi on peut regarder en quelque manière **l'expérience et l'observation** comme la **suite** et le complément l'une de l'autre. »

On ne voit pas d'hypothèse s'insérer entre les deux, et d'ailleurs d'Alembert signale « **l'abus des hypothèses** dans la Physique », en demandant de se défier de « cette **fureur d'expliquer** tout, que **Descartes** a introduite ». Il termine, là aussi en modérant quelque peu son propos :

« Au reste, quand je **proscris** de la Physique la manie des explications, je suis bien éloigné d'en proscrire cet **esprit de conjecture**, qui tout à la fois **timide** et éclairé conduit quelquefois à des découvertes, pourvu qu'il se donne pour ce qu'il est, jusqu'à ce qu'il soit arrivé à la découverte réelle : cet esprit d'analogie, dont la sage hardiesse perce au delà de ce que la nature semble vouloir montrer, et prévoit les faits, avant que de les avoir vus. »

La sage hardiesse... On est loin du sentiment de Diderot, qu'il résume d'une phrase dans l'article *encyclopédie* de l'*Encyclopédie* (vol. 5, 1755) :

« (...) il vaut encore mieux risquer des **conjectures chimériques**, que d'en **laisser perdre** d'utiles. »

Il en propose aussitôt sur le magnétisme, concluant, malicieusement peut-être :

« C'est à mon collègue M. D'Alembert à apprécier ces conjectures. »

### 1.2.7.2. L'abbé et le chimiste : de Condillac à Lavoisier

Condillac (1715-1780), ami de Diderot (1713-1784) avec qui il dîne toutes les semaines, se place lui aussi dans la lignée de Bacon et va jouer un rôle important, notamment par son influence sur Lavoisier et, au-delà, sur un autre chimiste, Chevreul, très concerné par les questions de méthode et qui transmettra à son collègue, un certain Claude Bernard, l'essentiel de ses vues méthodologiques. La fameuse formule historique de Diderot selon laquelle, comme on l'a vu, l'observation recueille les faits, la réflexion les combine et l'expérience vérifie le résultat de la combinaison, correspond bien à la philosophie de Locke introduite en France par Condillac (1746), qui donne deux sources à notre connaissance, la sensation, et la *réflexion* qui *combine* les sensations élémentaires en idées.

Surtout, Condillac sert de référence et de caution philosophique à Lavoisier (1743-1794), qui place son *Traité élémentaire de chimie* (1789) sous son haut patronage.

Bernadette Bensaude-Vincent relève :

« Une révolution scientifique qui se réclame d'une philosophie ! Le cas est assez exceptionnel pour qu'on s'y arrête. » (1989, p. 559-560).

« Grâce à Condillac, le grand coup de balai dans les doctrines chimiques prend des allures de renaissance, de retour aux sources. (...) **Lavoisier** trouve donc chez lui **une méthodologie** : (...) il ne s'agit pas de partir des connaissances acquises mais des seules données fiables : les sensations élémentaires, les faits. » (*id.*, p. 560).

Lavoisier, pour qui « l'imagination (...) tend à nous porter continuellement au-delà du vrai »<sup>219</sup>, cite longuement Condillac, et notamment :

« Au lieu d'observer les choses que nous voulions connaître, nous avons voulu les imaginer. **De suppositions fausses en suppositions fausses**, nous nous sommes égarés parmi une multitude d'erreurs (...). Quand les choses sont parvenues à ce point, quand les erreurs se sont ainsi accumulées, il n'y a qu'un moyen de remettre l'ordre dans la faculté de penser ; c'est d'oublier tout ce que nous avons appris, de reprendre nos idées à leur origine, d'en suivre la génération, et de refaire, comme dit **Bacon**, l'entendement humain. » Condillac (1780), repris dans Lavoisier (1789, *Discours préliminaire*).

Mais avant d'être dans le *Discours préliminaire* du livre majeur de Lavoisier (1789), Condillac est, de son vivant cette fois, dans le *Discours préliminaire* de l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert (1751), à propos du "goût des systèmes" :

« Un de nos meilleurs Philosophes, l'abbé de Condillac, semble lui avoir porté les derniers coups. **L'esprit d'hypothèse et de conjecture** pouvait être autrefois fort utile, et avait même été nécessaire pour la renaissance de la Philosophie; parce qu'alors il s'agissait encore moins de bien penser, que d'apprendre à penser par soi-même. Mais les temps sont changés ».

D'Alembert, auteur de ce *Discours*, se range ainsi derrière Condillac pour sa critique vigoureuse des systèmes abstraits. Ce dernier oppose Descartes à Bacon :

« Bacon proposait une méthode trop parfaite, pour être l'auteur d'une révolution ; et celle de Descartes devait réussir, parce qu'elle laissait subsister une partie des erreurs. (...) Descartes, (...) ayant une imagination plus vive et plus féconde, n'a quelquefois **substitué aux erreurs des autres que des erreurs plus séduisantes** : elles n'ont pas peu contribué à sa réputation. » (Condillac, 1746, p. 508).

Or Condillac est également cité dans l'*Encyclopédie* à la fin de l'article *hypothèse* (non signé, tome 8, 1765) : "voyez surtout *le traité des Systèmes* de M. l'Abbé de Condillac".

---

<sup>219</sup> *Discours préliminaire* du *Traité élémentaire de Chimie*, 1789.

Entre-temps, une “volée de philosophes” infiniment petits se retrouvent, étonnés, dans la main du *Micromégas* de Voltaire (1752) : confrontés à leur situation problématique, « les philosophes du vaisseau firent un système ». Et dans ces mêmes années Condillac a produit le *Traité des sensations* (1754), qui frappe les esprits par l’image saisissante d’une statue dont l’abbé éveille un à un les sens, la conscience naissant avec eux. L’époque est donc nettement, dans la lignée de Newton, contre les “systèmes” et les hypothèses, et tournée vers le pouvoir des sens.

Et pourtant, l’article *hypothèse* affirme, bien plus nettement que le *Discours* de d’Alembert, la nécessité quasi-permanente des conjectures du fait de la distance entre les effets et leurs causes :

« Les véritables causes des effets naturels et des phénomènes que nous observons, sont souvent si éloignées des principes sur lesquels nous pouvons nous appuyer, et des expériences que nous pouvons faire, qu’on est **obligé** de se contenter de **raisons probables** pour les expliquer. Les probabilités ne sont donc pas à rejeter dans les sciences ; il faut un commencement dans toutes les recherches, et ce commencement doit presque toujours être une **tentative très imparfaite**, et souvent sans succès. Il y a des vérités inconnues, comme des pays, dont on ne peut trouver la bonne route qu’après avoir essayé toutes les autres ; ainsi, il faut que quelques-uns courent le risque de s’égarer, pour montrer le bon chemin aux autres.

Les *hypothèses* doivent donc trouver place dans les sciences, puisqu’elles sont propres à faire découvrir la vérité et à nous donner de nouvelles vues ; car **une hypothèse étant une fois posée**, on fait souvent **des expériences pour s’assurer** si elle est bonne. »

Dire que les hypothèses doivent trouver place dans les sciences, c’est prendre le contre-pied exact de Newton qui avait écrit, notamment contre Descartes, que les hypothèses n’avaient “*pas de place en philosophie expérimentale*” (1713). Elles ont leur place, mais ne doivent pas prendre *toute* la place :

« Il y a deux excès à éviter au sujet des *hypothèses*, celui de les estimer trop, et celui de les proscrire entièrement. **Descartes**, qui avait établi une bonne partie de sa philosophie sur des *hypothèses*, **mit tout le monde savant dans le goût de ces hypothèses**, et l’on ne fut pas longtemps sans tomber dans celui des **fictiones**. **Newton** et surtout ses disciples, se sont jetés dans **l’extrémité contraire**. Dégoûtés des suppositions et des erreurs, dont ils trouvaient les livres de philosophie remplis, ils se sont **élevés contre les hypothèses**, ils ont taché de les rendre suspectes et ridicules, en les appelant le **poison de la raison** et la **peste de la philosophie**. Cependant, ne pourrait-on point dire qu’ils prononcent **leur propre condamnation**, et le principe fondamental du Newtonianisme sera-t-il jamais admis à titre plus honorable que celui d’*hypothèse* ? » (article *hypothèse* de l’*Encyclopédie*, 1765).

L’auteur de l’article n’autorise les newtoniens à se passer d’hypothèses qu’en remplissant une condition insurmontable :

« Celui-là seul qui serait en état d’assigner et de démontrer les causes de tout ce que nous voyons, serait **en droit de bannir** entièrement les *hypothèses* de la Philosophie. » (*id.*).

La confiance excessive dans les vues de l’esprit, notamment chez Descartes, est perçue, dès cette époque, comme étant à l’origine de leur rejet :

« La plupart de ceux qui **depuis Descartes** ont rempli leurs écrits d’*hypothèses* (...) ont voulu faire passer leurs suppositions pour des vérités, et **c’est là en partie la source du dégoût que l’on a pris pour les hypothèses** ; mais **en distinguant entre leur bon et leur mauvais usage**, on évite d’un côté **les fictiones** et de l’autre on n’ôte point aux sciences une méthode **très nécessaire** à l’art d’inventer » (*id.*).

La “voie du milieu” est prônée, entre les excès de Descartes et le dégoût nocif de Newton, et cette réserve à l’égard de ce dernier est notable dans un siècle où il est universellement encensé.

Or cette position moyenne rejoint celle de Condillac, dont on peut faire... l’hypothèse qu’il est l’auteur anonyme de l’article, ou en tout cas que ce dernier s’en inspire fortement. L’abbé distingue en effet les deux mêmes sortes d’hypothèses, et relativise pareillement l’avantage des newtoniens :

« Rien n'est donc moins solide qu'une **conjecture** qui est de nature à ne pouvoir jamais être confirmée ni détruite. Telles sont, par exemple, **celle des newtoniens** pour expliquer la solidité, la fluidité, etc. » (1775, IV, 2).

### Condillac : le soupçon et le tâtonnement.

Condillac utilise à plusieurs reprises ces deux termes, le premier, *soupçon*, sans doute pour éviter la connotation qui accompagne *hypothèse*, et le second pour bien signifier que le soupçon caractérise le temps d'errance. Il en parle en ces termes en 1749 (Ch. I et XII) :

« Les suppositions ne sont proprement que des **soupçons** ; et, si nous avons besoin d'en faire, c'est que nous sommes condamnés à **tâtonner**. » « **Les hypothèses** ou suppositions (...) sont des moyens ou des **soupçons**, parce que l'observation, comme nous l'avons remarqué, commence toujours par un **tâtonnement** ».

Mais a-t-on besoin d'en faire ?

« Les philosophes sont fort partagés sur l'usage des **hypothèses**. Quelques uns, (...) peut-être éblouis par la **hardiesse** de quelques hypothèses de physique, les regardent comme de vrais principes ; d'autres, considérant les **abus** qu'on en fait, **voudraient les bannir** de la science. »

Condillac raille Descartes qui, avec des “hypothèses arbitraires” et des cubes qu'il fait mouvoir, prétend expliquer la formation du monde et tous les phénomènes :

« (...) du fond de son cabinet, un philosophe essaie de remuer la matière, il en dispose à son gré, rien ne lui résiste. »

Si, tout comme Newton, Condillac rejette les fictions cartésiennes, sa position sur le sort à réserver aux hypothèses-soupçons paraît évoluer entre 1749 et 1775 vers davantage de résistance à la “newtonmania” de son siècle, l'article *hypothèse* de l'*Encyclopédie* (1765) étant déjà conforme à l'état achevé de cette démarcation. La comparaison des titres des chapitres sur ce sujet, dans les deux ouvrages, est significative : en 1749, simplement *Des hypothèses* (Ch. XII) ; en 1775, *De la force des conjectures* (Ch. IV, 2).

1749 - *Des hypothèses* - « Faut-il donc **bannir** de la physique toutes les hypothèses ? Non, sans doute : mais il y aurait peu de sagesse à les adopter sans choix. (...) On ne doit donc pas interdire l'usage des hypothèses aux esprits assez vifs pour devancer **quelquefois** l'expérience. »

1775 - *De la force des conjectures* - « Les conjectures sont le degré de certitude le plus éloigné de l'évidence ; mais **ce n'est pas une raison pour les rejeter**. C'est par elles que toutes les sciences et tous les arts ont commencé : car nous entrevoyons la vérité avant de la voir ; et l'évidence ne vient **souvent** qu'après le tâtonnement. (...) L'histoire de l'esprit humain prouve que **les conjectures sont souvent sur le chemin de la vérité**. Nous serons donc **obligés de conjecturer**, tant que nous aurons des découvertes à faire ; et nous conjecturerons avec d'autant plus de sagacité, que nous aurons fait plus de découvertes. »

Ainsi Condillac est-il passé de *quelquefois* en 1749, pour les “esprits vifs”, à *souvent* en 1775, et même *obligation* tant qu'il y aura des découvertes à faire. Une affirmation qui anticipe grandement celle de Claude Bernard :

« (...) le jour de la dernière hypothèse serait le dernier jour de la science » (*Principes*, p. 77).

D'une autre manière, Condillac anticipe également d'un siècle le discours d'un autre spécialiste des questions de méthode : le chimiste Chevreul. Pour illustrer l'idée de “ne rien admettre qui n'ait été confirmé par des expériences bien faites”, il prend l'exemple du problème de la montée de l'eau dans les pompes : Galilée conclut qu'on n'avait pas la vraie cause du phénomène, Torricelli conjectura et Pascal « sentit combien il était important d'**assurer le sort de la conjecture** de

Torricelli » ; l'expérience du Puy-de-Dôme "confirma le raisonnement de Pascal" (1749, p. 390). C'est aussi l'exemple préféré de Chevreul :

« j'ai toujours cité, à l'appui de cette manière d'envisager la **méthode expérimentale**, les recherches relatives à la découverte de la pesanteur de l'air, par Galilée, Torricelli et Pascal » (1866, p. 20).

D'Alembert, dans son *Discours préliminaire* de 1751, qui aura un nombre de lecteurs bien plus vaste que les traités de Condillac, adhère à la première vision de ce dernier :

« L'esprit de Système (...) s'il est **quelquefois** nécessaire pour nous **mettre dans le chemin** de la vérité, il est presque toujours incapable de nous y conduire par lui-même. »

Malgré cette position en retrait, d'Alembert n'exclut pas toute forme hypothèse, et esquisse leur distinction en deux catégories : le savant,

« éclairé par l'**observation** de la Nature, (...) peut entrevoir les **causes** des phénomènes ».

Puis, par le raisonnement, conclure,

« en déterminant exactement les **effets** qu'elles peuvent produire, et en **comparant** ces effets avec ceux que l'**expérience** nous découvre. »

Le "secours" de l'expérience confère à ce genre d'hypothèse un statut acceptable :

« Toute **hypothèse dénuée d'une tel secours** acquiert rarement ce degré de certitude, qu'on doit toujours chercher dans les Sciences naturelles, et qui néanmoins se trouve si peu dans ces **conjectures frivoles** qu'on honore du nom de Systèmes. S'il ne pouvait y en avoir que **de cette espèce**, le **principal mérite** du Physicien serait, à proprement parler, d'avoir l'**esprit** de Système, et de n'en faire jamais. »

Apparaissent donc d'un côté les "conjectures frivoles" qui, exonérées de contrôle, mènent droit aux systèmes, et, d'un autre, les hypothèses "secourues" par l'expérience : si le savant se bornait à ces dernières, non seulement il ne tomberait pas dans les systèmes, universellement rejetés à l'époque, mais forger ce genre d'hypothèses serait même son *principal mérite*.

Condillac va plus loin que d'Alembert, et plus clairement : ses idées, loin d'être des fulgurances isolées, convergent vers une recommandation réfléchie, en connaissance de cause, de ce qu'il a nommé la *force* des conjectures :

« Leurs soupçons, **pourvu qu'ils les donnent pour ce qu'ils sont**, peuvent **indiquer les recherches à faire** et conduire à des découvertes. » (1749, XII).

« On ne doit s'arrêter à des conjectures qu'autant qu'elles peuvent frayer un chemin à de nouvelles connaissances. C'est à elles à **indiquer les expériences à faire** : il faut qu'on ait quelque espérance de pouvoir un jour les **confirmer**, ou de pouvoir y **substituer** quelque chose de mieux ; et par conséquent il n'en faut faire qu'autant qu'elles peuvent devenir l'objet de l'évidence de fait et de l'évidence de raison. » (1775, IV, 2).

On doit aussi relever quelques remarques à la sonorité extrêmement moderne chez Condillac, tout en gardant à l'esprit le risque de surinterprétation auquel s'expose tout regard rétrospectif : quand par exemple il affirme, comme nous l'avons vu, que rien n'est moins solide qu'une conjecture qui ne peut être ni confirmée ni détruite, il est très proche du critère de réfutabilité que Popper utilisera pour démarquer ce qui est scientifique de ce qui ne l'est pas.

Bachelard n'aurait probablement pas renié cette phrase :

« Souvenez-vous que, les vérités les mieux prouvées étant **souvent contraires à ce que nous croyons voir**, nous nous trompons, parce qu'il nous est **plus commode de juger d'après un préjugé**, que de juger le **préjugé** même. » (1775, IV, 2).

Une autre correspond bien à la vision non linéaire des cheminements scientifiques :

« Rappelez-vous que nous n'arrivons **pas tout à coup** aux découvertes : nous y allons de **conjecture en conjecture, de supposition en supposition** ; en un mot, nous y allons **en tâtonnant**. » (1775, IV, 2).

Lavoisier tirera parti de ces réflexions. Il remet, en 1772, un pli cacheté à l'Académie qui contient, en germe, le renversement du système des quatre éléments qui perdure depuis l'Antiquité. Il y écrit :

« L'**expérience** a complètement **confirmé mes conjectures** »<sup>220</sup>.

Ses réflexions méthodologiques ultérieures s'inscrivent bien dans les traces de celles de Condillac. En 1777, il présente son *Mémoire sur la combustion en général*, œuvre majeure dans laquelle il avance une nouvelle théorie de la combustion et compare celle-ci à la respiration. Or le mémoire commence directement par les considérations suivantes :

« Autant **l'esprit de système** est dangereux dans les sciences physiques, autant il est à craindre qu'en **entassant sans ordre** une trop grande multiplicité d'expériences, on n'obscurcisse la science au lieu de l'éclaircir. Les faits, les observations, les expériences, **sont les matériaux** d'un grand édifice ; mais il faut éviter, en les rassemblant, de **former encombrement** dans la science » (1777, p. 225).

Chevreul et Cl. Bernard tiendront un discours analogue, par exemple, chez ce dernier :

« Les faits sont les **matériaux** nécessaires ; mais c'est leur mise en œuvre par le raisonnement expérimental, c'est-à-dire la théorie, qui constitue et édifie véritablement la science. » (1865, p. 56).

On songe aussi à Henri Poincaré (1902, IX) déclarant qu'une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison (voir partie 1.2.9.1.).

Lavoisier poursuit en 1777 :

« (...) ce sont, à proprement parler, des méthodes d'approximation qui nous mettent sur la voie de la solution du **problème** ; ce sont des **hypothèses** qui, **successivement modifiées, corrigées** et changées à **mesure** qu'elles sont **démenties** par l'**expérience**, doivent nous conduire inmanquablement un jour, à force d'**exclusions** et d'éliminations, à la connaissance des vraies lois de la nature. » (p. 225).

La procédure paraît relever de la réjection baconienne, en même temps que, par son insistance sur le démenti, l'exclusion et l'élimination des hypothèses, elle présente déjà un caractère qui, bien plus tard, sera celui de la progression par conjectures et réfutations de Popper (1934).

« Enhardi par ces réflexions, je hasarde de proposer aujourd'hui à l'Académie une théorie nouvelle de la combustion ; ou plutôt, pour parler avec la réserve dont je me suis imposé la loi, **une hypothèse**, à l'aide de laquelle **on explique** d'une manière très satisfaisante tous les phénomènes de combustion. » (1777, p. 225).

Et Lavoisier signale que son hypothèse, précédée par cette introduction épistémologique, est directement contraire à la théorie régnante (celle de Stahl). Y revenant en 1789 dans le *Discours Préliminaire* qui s'appuie sur Condillac, Lavoisier, après avoir rappelé la tendance de notre imagination à nous porter sans cesse au-delà du vrai, prescrit :

« Le seul moyen de prévenir ces écarts, consiste à **supprimer ou au moins simplifier** autant qu'il est possible **le raisonnement**, qui est de nous et qui seul peut nous égarer ; à le mettre **continuellement à l'épreuve** de l'expérience ».

---

<sup>220</sup> Lavoisier, pages choisies, E. Kahane, Éditions sociales, 1974, p. 78.

Ainsi, si l'on ne peut supprimer le raisonnement, au moins peut-on le mettre *continuellement* à l'épreuve de l'expérience, ce qui est bien attribuer à celle-ci le statut d'un moyen de *contrôle*. Lavoisier écrira encore que le raisonnement nous trompe facilement « lorsque ses opérations ne sont pas continuellement **redressées** par l'expérience » (1792, p. 78).

Le raisonnement “pur” subit un assaut analogue de la part de Kant, qui loue d'ailleurs les chimistes contemporains, d'abord Stahl puis, plus tard, Lavoisier<sup>221</sup>.

L'introduction à la deuxième édition de sa *Critique de la raison pure* (1787) s'ouvre sur cette affirmation qui rejoint Condillac :

« Que toute notre connaissance **commence avec l'expérience**, cela ne soulève aucun doute. »

Mais si Kant attaque la raison pure de Descartes, il n'attribue pas pour autant tout à l'expérience, car il poursuit :

« Mais si toute notre connaissance débute **AVEC l'expérience**, cela ne prouve pas qu'elle **dérive toute DE l'expérience** » (*majuscules de Kant*, p. 31).

L'alliance de la raison et de l'expérience est ainsi célébrée :

« Il faut donc que la raison se présente à la nature tenant, **d'une main, ses principes** (...), et **de l'autre, l'expérimentation** qu'elle a imaginée d'après ces principes, pour être instruite par elle » (1787, p. 17).

Ainsi l'expérience conduit à la connaissance parce qu'elle *éprouve* ou *redresse* la raison pour Lavoisier, qu'elle *l'instruit* pour Kant.

La raison peut croire avancer seule, mais il lui est en fait nécessaire, pour ne pas rester sur place, de s'appuyer sur l'expérience : Kant nous le dit en prenant le bel exemple d'une colombe qui, sentant la résistance de l'air, croirait à tort mieux voler dans le vide (1787, p. 36).

Jean-Baptiste Dumas (1800-1884), illustre chimiste du XIX<sup>e</sup> siècle, s'engagea à publier les œuvres de Lavoisier en ces termes :

« Oui, je doterai les chimistes de leur évangile » (Bensaude-Vincent, 1989, p. 569).

C'est dire l'influence qu'elles pourront avoir sur certains lecteurs, dont sera le chimiste Chevreul.

### 1.2.7.3. Excusez-nous Mr Newton...

L'interdit prononcé par Newton, en attendant, dicte toujours sa loi. Thomas Reid (1710-1796), fondateur de l'école écossaise de philosophe, trouve à peine un auteur qui s'y oppose frontalement :

« Depuis que **Newton** a posé les règles qui doivent nous guider dans la recherche des lois de la nature, (...) elles ont obtenu une **approbation générale** (...). Le docteur Hartley est **le seul** auteur, à ma connaissance, qui les ait **attaquées** et qui ait pris la peine de chercher des arguments en faveur de **la méthode discréditée de l'hypothèse** (*the exploded method of hypotheses*) » (Reid, 1785, t. 3, p. 106-107).

Les attaques de l'Écossais David Hartley (1705-1757) que signale Reid proviennent de sa tentative de mettre en accord les concepts et les préceptes de Newton : Hartley essaie en vain de “dédire des

---

<sup>221</sup> Lequan, M. (2005). « De la chimie phlogistique de Stahl à la chimie antiphlogistique de Lavoisier », in Theis, R. (2005). *Les sources de la philosophie kantienne aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles*, Vrin.

phénomènes” cet “esprit très subtil” qui pénètre partout, cet “éther” newtonien censé régir l’attraction aussi bien que la lumière et la propagation nerveuse.

Hartley, dit Reid,

« se sent incapable d’appliquer avec exactitude la vraie méthode philosophique recommandée et suivie par Newton » (p. 100).

Hartley ne nie pas la valeur de l’induction mais estime dans ses *Observations on man* (1749) :

« Il est **vain** de demander à un chercheur de **s’abstenir de faire des hypothèses**. Chaque phénomène **suggèrera** quelque chose de ce genre », et Hartley dit qu’il vaut mieux en avoir conscience que de faire une “mixture de fiction et de réel”. « Celui qui fait des hypothèses (...) et les met **à l’épreuve des faits** (*tries them by the facts*) rejette bientôt les plus improbables (...). Celui qui tente fréquemment de faire une hypothèse adaptée aux phénomènes se perfectionne dans la méthode d’en composer (...). Enfin, **faire souvent des hypothèses** (...) peut faire remarquer de nombreux phénomènes qui sans cela nous échapperaient, et **conduire à des *experimenta crucis***, non seulement touchant l’hypothèse considérée, mais aussi beaucoup d’autres. » (1749, p. 218).

Les hypothèses tombent en disgrâce au début des années 1700, privées de reconnaissance scientifique par le prestigieux Isaac Newton, et il n’y aura pas pour elles de plaidoyer véritablement influent avant ceux de John Herschel et William Whewell dans les années 1830, leur emploi étant ensuite solidement théorisé par Claude Bernard (1865) puis Karl Popper (1934).

Dans la longue “nuit” des hypothèses, de l’extinction brusque des feux par Newton aux alentours de 1700 jusqu’aux lueurs d’abord timides de 1830, Hartley (1749) n’est cependant pas le seul savant à braver l’interdit, avec son fluide éthéré dans le système nerveux. Tout comme lui, deux autres physiciens avancent des théories très spéculatives : Rudjer Bosovich, de Raguse (Dubrovnik), avec ses conjectures sur les forces répulsives et attractives publiées en 1758, et Georges-Louis Le Sage, de Genève, qui, à partir de 1758 également, envoie à tout ce que l’Europe compte de célébrités savantes sa théorie mécanique de la gravitation.

Tous trois, ne pouvant “justifier” ce qu’ils avancent par des inductions, sont l’objet d’après critiques. Pour Larry Laudan (1981, p. 19), il leur fallait ou abandonner leurs théories, ou élaborer une épistémologie et une méthodologie de la science alternatives, leur fournissant une légitimation philosophique. Tous trois firent ce dernier choix, sans s’en tenir à des discours destinés à servir leurs théories, mais, estime Laudan (1981, p. 109), en avançant des tentatives bien raisonnées pour articuler et défendre « une méthodologie hypothético-déductive » contre les critiques des inductivistes.

“Tout ensemble mondain, cosmopolite et raisonneur”<sup>222</sup>, Rudjer Bosovich (1711-1787), dont « les moindres remarques de logique sont dignes d’une attention particulière » selon Dugald Stewart (1814, p. 289), promeut les idées de Newton, mais s’en écarte bientôt dans le domaine méthodologique, pour avancer ses propres vues :

« Dans quelques cas, les observations et les expériences nous apprennent immédiatement tout ce que nous voulons savoir. Dans d’autres cas, **nous nous appuyons sur des hypothèses** ; par quoi il faut entendre, non des fictions arbitraires, mais des suppositions conformes à l’expérience et à l’analogie. Ces hypothèses suppléent à l’insuffisance de nos *data*, et **nous aident à deviner le chemin de la vérité** ; pourvu qu’on soit toujours **prêt à abandonner l’hypothèse** dès qu’on s’aperçoit qu’elle **implique des conséquences** contraires à des faits. Je pense même que, **dans la plupart des cas, c’est là la méthode la plus convenable** dans la physique » (1760)<sup>223</sup>.

<sup>222</sup> Jacques Guillaume, article « Rudjer Bosovich » de l’*Encyclopædia Universalis*, 2007.

<sup>223</sup> Cité in Stewart, D. (1814), p. 289.

Boscovich va plus loin, ajoutant :

« Les théories légitimes sont généralement le résultat d'essais infructueux et d'erreurs qui ont **mis sur la voie de leur propre correction** » (*Id.*).

Lui-même élabore une théorie des forces qui sera saluée par Heisenberg en 1958 :

« Son œuvre principale (...) contient de nombreuses idées qui n'ont atteint leur pleine expression que dans la physique moderne des cinquante dernières années, et qui montrent **à quel point les vues philosophiques qui guidaient Boscovich** dans ses études des sciences naturelles étaient correctes. »<sup>224</sup>

L'article que lui consacre J. Guillerme dans l'*Encyclopædia Universalis* mentionne ces vues :

« Dans son **errance**, l'esprit doit **incorporer**, sur un mode critique, **l'erreur à la connaissance** ».

« (...) le *consensus hypotheseos cum phaenomenis*, l'accord d'une hypothèse avec les phénomènes, n'en certifie pas la véracité. **Seul le négatif est discriminant** ; l'adéquation de l'expérience et de la théorie n'est, pour lui, qu'un indice probabiliste ».

Une approche qui lui vaut cette célébration :

« Surgie de quelques axiomes, la doctrine pousse des chaînes déductives qui arraisonnent par vagues la diversité des phénomènes, tout en ménageant les **occasions de rectifications** selon une allure qui **anticipe sur les modernes épistémologies de la falsification**. » (J. Guillerme).

### **Le bastion suisse : la méthode des hypothèses.**

C'est aussi en travaillant dans le prolongement de Newton que le Suisse Le Sage (1724-1803) maintient la lumière vacillante de la *méthode des hypothèses*.

Il explique en 1764 la gravitation à l'aide de corpuscules qui, par leurs collisions non uniformes sur des corps massifs se faisant mutuellement écran, les poussent l'un vers l'autre, hypothèse que Richard Feynman qualifiera de "jolie" dans *La nature des lois physiques*, avec cependant cette réserve :

« (...) le seul ennui avec cette idée (...) c'est qu'elle ne marche pas. » (1980, p. 43).

Mais à l'époque, pour Le Sage, les ennuis provenaient surtout, comme il s'en lamentait, de l'obsession commune à lui répéter que son explication ne pouvait être *qu'une hypothèse*. Elle n'avait pas été générée par l'expérience. Or, pour Le Sage, le mode de génération d'une hypothèse importait peu, et elle n'avait notamment aucune nécessité de provenir d'une induction.

Il reconnaît que sa méthode procède, selon son propre terme, "par tâtonnement", et qu'elle ne peut mener à une certitude absolue :

« (...) **je propose de raisonner par hypothèse**, ce qui ne paraît pas devoir conduire à l'évidence. (...) **j'avoue que la méthode de raisonner par hypothèse est sujette à un tâtonnement**, de sorte qu'il y a des cas où on ne pourra se satisfaire par aucune des hypothèses qu'on imaginera, et que, par conséquent, après avoir **tâtonné** longtemps, on peut rester dans une ignorance aussi parfaite qu'auparavant. »

« (...) il faudra **former une hypothèse** qui paraisse répondre à toutes les questions, et tâcher ensuite de **confirmer** ou de **détruire** cette hypothèse par la **comparaison** exacte qu'on en fera **avec les faits**. Si on la détruit, il faudra en former une autre : et si celle-ci se détruit de même, il faudra en former, jusqu'à ce qu'on en ait enfin trouvé une qui satisfasse l'esprit le plus difficile ».<sup>225</sup>

---

<sup>224</sup> Cité in Dadić, Z. (1990). *Ruder Boskovic*, Školska Knjiga, -208p., p116.

<sup>225</sup> *Quelques fragments de l'ouvrage projeté par Le Sage sur les causes finales*, in Prevost, P. (1805), p. 529-530.

Pour Le Sage, “les plus grands philosophes” ont fait usage des hypothèses, et, des Alpes genevoises, on peut suivre son regard jusqu’au-delà de la Manche. Lorsqu’il prend en exemple *l’hypothèse* de la gravitation, Newton est visé directement :

« Comme il est fort rare qu'on puisse dénombrer toutes les hypothèses imaginables pour faire voir qu'une seule est possible, **les plus grands philosophes** et les plus sceptiques **se contentent à moins** ; il leur suffit de prouver que **l'hypothèse qu'ils proposent et qu'ils adoptent**, explique plusieurs phénomènes avec précision. Plus les phénomènes sont nombreux et plus (...) ils jugent avec assurance qu'il ne saurait y avoir d'autre hypothèse sur le même sujet, qui ait les mêmes avantages. C'est sur un pareil fondement que **l'hypothèse de la gravitation est généralement admise**. La matière des hypothèses en général **fournirait un traité complet** dont je ne veux pas pour le présent grossir celui-ci. »<sup>226</sup>

À défaut d’un traité complet, il rédige un essai intitulé « **Sur la méthode des hypothèses** », destiné à paraître dans *l’Encyclopédie* (Laudan, 1981, p. 106). On lui prend deux autres articles, mais on lui refuse celui-là, dont le manuscrit se trouve toujours à la Bibliothèque de l’Université de Genève<sup>227</sup>.

Reprenant l’expression des newtoniens qui ne veulent admettre que les idées qui se “déduisent des faits”, il y écrit que la seule chose que l’on puisse déduire comme une conséquence immédiate de l’observation d’un fait, c’est « l’existence d’un tel fait, rien de plus ». Quant aux deux premiers livres des *Principia* de Newton,

« ils ne contiennent rien de plus qu’une **collection de curieuses hypothèses** »<sup>228</sup>.

Relevant également l’usage d’hypothèses par Kepler ou Huygens, il observe que le XVII<sup>e</sup> siècle acceptait toute hypothèse, même peu plausible, tandis que le XVIII<sup>e</sup> trouve plus convenant de les écarter toutes.

Son ami le géologue genevois André Deluc, qui fait adopter le mot “géologie” et qui a consacré un livre à Bacon, proteste, rapporte F. Ellenberger (1994, p. 10), contre ceux qui crient “**les faits ! Les faits !**”. Deluc poursuit :

« Comme si nous connaissions mieux les Faits que les Principes... Sans leur **aide mutuelle**, le Philosophe ne serait qu’un visionnaire, et le Naturaliste, qu’un nomenclateur ». (Ellenberger, 1994, p. 10).

Ellenberger commente :

« Belle déclaration, sous la plume d’un théoricien égaré par ses propres hypothèses. » (*Id.*).

L’élève de Le Sage et son successeur comme directeur de la Bibliothèque de Genève, Jean Senebier, réalisera le “traité complet” que n’a pu publier son maître.

En 1783 tout d’abord, puis en complétant son travail en 1802, il analyse les démarches des chercheurs et notamment celles de Spallanzani et Deluc, et publie des ouvrages qui contiennent des considérations méthodologiques très modernes.

Il donne à ses ouvrages, dès 1783, une vocation didactique :

« je fournirai à tous ceux **qui veulent étudier** la philosophie expérimentale, de grands moyens pour apprendre l’art sublime des expériences, la logique subtile qui doit les diriger, les ressources puissantes qu’elle leur indique, et les succès brillants qu’elle leur assure. » (1783, p. II-III).

---

<sup>226</sup> *Id.*

<sup>227</sup> Ms. Fr. 2019, Publication posthume en 1804 sous le titre « Premier mémoire sur la méthode d’hypothèse, contenant un parallèle de cette méthode et de celle d’analogie », in PRÉVOST, P. (1804). *Essais de philosophie*. Genève, Paschoud, an XIII.

<sup>228</sup> Le Sage Ms. ; par. 20, cité in Laudan, 1981, p. 125.

« j'ai **voulu indiquer aux jeunes gens** dans quel **esprit** ils doivent lire ce Livre (...) pour y apprendre l'art difficile et sublime de questionner la Nature, de recevoir ses réponses et de les entendre. » (1783, p. LXXI).

Il discute le rôle joué par les hypothèses et fait suivre ses propos d'exemples les illustrant :

« **les hypothèses** mènent au vrai par **les recherches qu'elles inspirent**, les idées qu'elles font naître : elles peuvent être nuisibles, quand elles sont regardées comme la vérité, quand on ne pense qu'à les établir, ou quand on y trouve un oreiller de paresse qui dispense de toute autre recherche ultérieure : l'Abbé Spallanzani n'est point dominé par ces petites idées ; (...) il **pèse** encore **au trébuchet de l'expérience les hypothèses plausibles** que **lui offrent les faits** qu'il examine » (1783, p. LXI).

La succession évoquée est donc : examen des faits – hypothèses plausibles – trébuchet de l'expérience, terme qui fait songer au *Saggiatore* (l'essayeur, le peseur) de Galilée (1623). L'exemple vient aussitôt : l'Abbé ayant vu des Couleuvres avaler des Grenouilles entières imagine que les reptiles en vomissent les os, mais aussi que leur suc gastrique les dissout,

« cette idée paraissait bien **vraisemblable**, mais cela n'est **pas suffisant** pour un ami passionné du vrai ; il met des os dans ces tubes qu'il fait avaler à des Couleuvres, et il vit que le suc gastrique était le dissolvant des os : **quelle leçon pour tant de Physiciens nonchalants, et tant de Naturalistes qui croient lire la Nature dans leur cerveau !** Il est naturel d'imaginer que si notre illustre Abbé ne **se fie pas à ses hypothèses**, il n'a **pas plus de respect pour celles des autres**. » (1783, p. LXI-LXII).

Spallanzani, dit Senebier (1783, §XIV), « se garde bien de se laisser aller » aux vraisemblances, qu'il tient à « peser à la balance des essais », qui les confirment ou non :

« il jouit de sa sage retenue, en voyant cette idée rejetée par ses expériences. » (p. LXVIII).

Senebier tient, dans son ouvrage majeur de 1802, des propos fort proches de ceux de Condillac et de Diderot. Il adopte, dès l'introduction, les vues sensualistes du premier, puis expose des idées méthodologiques semblables à celles du second, dont il a lu le « petit livre *de l'interprétation de la nature* » (1802, t. I, p. 8) :

« il serait impossible d'avoir des idées sans les sensations » (1802, t. I, p. 1).

« Toutes les opérations de l'esprit humain se bornent ainsi à **recevoir des sensations**, à les former en **idées**, à tirer les jugements qu'elles peuvent fournir, et à trouver dans ces résultats les **motifs** déterminants des **actions**. » (*id.*, p. 2).

La proximité avec des formules du petit livre de Diderot (rappelées ici en note<sup>229</sup>) est plus sensible encore lorsque Senebier résume :

« Les **hypothèses** font souvent trouver dans la nature des faits, qu'on n'y aurait peut-être pas cherché, si **l'imagination** n'y avait pas découvert des **combinaisons** que l'observation a **vérifiées**. » (1802, t. II, p. 201).

« lorsqu'on ne cherche **que dans son imagination** les sources de ses explications ; il est **facile d'en trouver** » (t. II, p. 207).

Senebier se tient à distance à la fois des cartésiens et des newtoniens :

« Les bons esprits doivent (...) **ramener**, s'il est possible, **leurs rêves à la vérité**. On ne peut se représenter tout ce que les **Cartésiens** ont fait pour soutenir le **système croulant de Descartes**. » (t. II, p. 202).

« Les **hypothèses** (...) sont donc des moyens pour arriver à la vérité, aussi **loin de les proscrire avec ces Newtoniens rigides** (...) ; **je les conseille** » (t. II, p. 206).

---

<sup>229</sup> Diderot, 1753 (partie 1.2.7.1.) : « l'observation recueille les faits, la réflexion les combine, l'expérience vérifie les résultats de la combinaison » ; « par malheur il est plus facile et plus court de se consulter soi que la nature ».

« En remplissant les lacunes qu'il y a dans les faits, par le moyen de l'imagination, on fait des théories ou des principes généraux, qui sont déduits des objets plus ou moins connus ; **mais on ne connaît pas mieux les faits que les principes**, et l'on n'aperçoit que quelques parties des uns et des autres. Ces principes pourraient, à la vérité, garantir des fausses apparences ; mais s'ils sont mal fondés, ou légèrement appuyés, ils jetteront dans une erreur, d'autant plus certaine, qu'on aura cru procéder avec plus de logique. Les Cartésiens, en voyant tout au travers de la matière subtile et des tourbillons, voyaient toute autre chose que ce qui frappait réellement leurs regards. » (t. II, p. 213-214).

Il défend subtilement l'hypothèse audacieuse de son maître en l'associant à une idée aventureuse de Newton lui-même :

« Quel que soit le danger de ces arrangements, on ne peut se dissimuler qu'il y a des cas où cela paraît indispensable, comme par exemple dans **l'optique de Newton et la théorie de Le Sage** sur la cause de la gravité ; mais il faut reconnaître aussi que ces cas sont infiniment rares. » (1802, p. 83-84).

Tout comme Le Sage, Senebier prône l'usage des hypothèses, et utilise par deux fois un exemple pris chez Deluc (t. II, p. 203 et t. III, p. 30), en effet assez édifiant puisque Deluc fait une hypothèse fautive, mais approche de la vérité par des "observations collatérales", exemple de cheminement qu'il nous paraît souhaitable de laisser se produire dans l'enseignement :

« Comment imaginer des expériences dans un sujet qu'on commence à étudier ? Certainement cela serait **impossible, si l'on ne se formait pas** sur la matière **quelques idées vraies ou hypothétiques**, pour **donner naissance aux questions qu'on veut faire à la nature** par la voie de **l'expérience**. Deluc **observait** un baromètre sur la montagne, tandis qu'on en observait un semblable dans la plaine ; ils varièrent dans un sens opposé ; comme le ciel n'était pas parfaitement serein, il croit y trouver la cause d'un abaissement (...). **Pour éclaircir cette opinion**, il voulut **observer** le baromètre sur la montagne pendant tout un jour, où le mercure lui paraissait devoir être stationnaire, et dans un autre, où il lui semblait avoir du penchant pour monter, ou pour descendre, tandis qu'on l'observerait dans la plaine ; il **trouva bientôt l'erreur de son hypothèse**, et les **observations collatérales** du thermomètre **lui apprirent** l'influence de la chaleur sur cet effet. » (t. III, p. 30-31).

Senebier caractérise bien à la fois le rôle exploratoire et aventureux des hypothèses et le rôle rectificateur de l'observation et de l'expérience, ainsi que leur jeu réciproque :

« **On ne risque pas beaucoup d'aventurer ses idées** dans un sujet inconnu ; elles peuvent donner le jour à quelques découvertes importantes par les observations qu'on peut faire **pour établir leur solidité, ou pour les détruire**. (...) Les hypothèses, comme leur nom l'indique, sont des suppositions qui restent des suppositions, jusqu'à ce que **l'observation ou l'expérience** les ait vérifiées » (1802, t. II, p. 203-206).

« Telle est l'histoire de tous les hommes qui ont **corrigé** plus ou moins **par leur expérience** la plupart des **idées fausses** qu'ils avaient prises dans la société, ou dans des observations mal faites, ou dans des jugements hasardés sur ce qui frappait leurs sens. » (1802, t. I, p. 4-5).

« Il n'y a aucune expérience, faite par un homme de génie, qui ne soit **le résultat d'une profonde méditation**, et il n'y en a point qui ne le fasse penser à son tour. » (1783, p. XX).

Ses réflexions sur le *possible* seront aussi, bien plus tard, celles de P. Medawar et de Fr. Jacob (partie 1.2.9.2.) :

« Quoique l'auteur de l'hypothèse ait devant lui **la foule des possibles**, il peut rarement connaître avec exactitude tous les effets et tous les rapports qui composent le phénomène dont il **cherche l'explication**. » (t. II, p. 215).

« Les **conjectures** (...) ont ouvert de nouvelles routes, elles ont fait naître de belles découvertes. Les succès qu'elles ont eus, font souhaiter que **le génie s'élançe encore dans l'Océan sans bornes du possible**, mais les dangers qu'elles font courir, ordonnent de s'y engager en tremblant. » (1802, t. III, p. 277).

Lui-même redevable à Bacon (« Celui qui interroge la nature par des expériences, la met à la *question* », 1802, t. III, p. 13) et à Diderot, auxquels il se réfère, ainsi qu'à Le Sage, il tient des propos qui préfigurent et influenceront ceux de Claude Bernard, ainsi que l'a analysé Pilet<sup>230</sup>.

### Résistances écossaises.

Thomas Reid aurait pu déceler d'autres résistances à Newton dans son entourage immédiat : son cousin et ami John Gregory en 1772, ainsi que son élève Dugald Stewart en 1792.

Le docteur Gregory parle, en 1772, du « **préjugé que beaucoup de gens conservent contre les hypothèses** », et cependant :

« Lorsque ces hypothèses sont présentées avec la **défiance** et la **modération** qui conviennent à de simples **conjectures**, elles sont **non seulement sans inconvénient**, mais encore **nécessaires** pour établir une théorie exacte ; elles sont les premiers rudiments et comme une anticipation des principes. **Sans leur secours** il n'y aurait plus d'observations, d'expériences, de classifications possibles, parce qu'il n'y aurait pour l'esprit aucun motif, aucune **base d'opération**. Les hypothèses ne deviennent donc dangereuses et blâmables que lorsqu'on les veut faire passer pour de vrais principes, parce que, dans ce cas, elles mettent obstacle à de nouvelles recherches en imposant à l'esprit des principes qui pourraient aussi bien être faux que vrais. »<sup>231</sup>

Dugald Stewart (1792, p. 423) critique justement Reid :

« (...) quelques-uns des partisans de Lord Bacon ont, je pense, été conduit, dans leur **zèle en faveur de la méthode d'induction**, à **censurer les théories hypothétiques** avec un trop grand degré de sévérité. De telles théories ont certainement été fréquemment utiles, en mettant les philosophes sur la voie de la découverte. En fait, c'est probablement de cette manière que la plupart des découvertes ont été réalisées ».

« Si un homme, sans se forger la moindre conjecture sur les lois inconnues de la nature, **se contentait simplement d'accumuler des faits au hasard**, il pourrait, peut-être, trébucher sur quelque importante découverte, mais la plus grande part de ses travaux serait **entièrement inutile**. »

« Chaque enquêteur philosophique, avant de commencer une série d'expériences, a quelque principe général en vue, qu'il suspecte d'être une loi de la nature ; et **bien que ses conjectures puissent être souvent fausses**, elles servent cependant à donner à ses recherches **une direction particulière** ».

Il prend également Newton dans ses propres filets :

« Que sont, en fait, **les *Queries* de Newton**, sinon une grande quantité **d'hypothèses** proposées comme sujets d'examen aux philosophes ? »

Surtout, il lui refuse d'avoir déduit la gravitation des phénomènes, et remet à sa place l'idée première, que nous savons de Hooke :

« Et la grande doctrine de la **gravitation** ne prit-elle pas son premier essor à **partir d'une heureuse conjecture** ? »

L'influence de Stewart sera importante : Herschel, Whewell et Mill puiseront abondamment dans sa philosophie, ainsi que l'on montré Richard Olson (1975) et Pietro Corsi (1988, p. 155 et 173). Ce dernier signale combien William Whewell et John Stuart Mill, dont les réflexions épistémologiques sont de premier plan, lui sont redevables. La lecture de Stewart en 1817 par Whewell le conduisit à réfléchir sur les parts de l'intellect et de l'expérience dans l'acquisition de la connaissance, et Mill "apprit beaucoup" de Stewart, au point que certains le considéraient comme son élève (tels le révérend Baden Powell, mathématicien, protagoniste du débat sur la méthodologie scientifique et premier soutient anglican à Darwin).

---

<sup>230</sup> Pilet, P. E. (1962). « Jean Senebier, un des précurseurs de Claude Bernard », *Archives internationales d'histoire des sciences*, XV, p. 303-313.

<sup>231</sup> Cité in Stewart, D. (1814), p. 286.

## 1.2.8. Les temps modernes

### 1.2.8.1. Le “triumvirat britannique” : Herschel, Whewell, Mill

Le 27 décembre 1831, un jeune naturaliste passionné s'embarque, à bord du *Beagle*, pour un tour du monde qui va durer presque cinq ans. Charles Darwin (1809-1882) vient de lire un livre qui l'incite à rechercher les lois universelles de la biologie<sup>232</sup> : le *Discours sur l'étude de la philosophie naturelle*, premier ouvrage moderne de philosophie des sciences, que John Herschel (1792-1871) a publié l'année précédente (1830).

C'est le fils du célèbre astronome William Herschel, découvreur d'Uranus en 1781, et John, qui a huit ans quand son père découvre aussi le rayonnement infrarouge (1800), grandit parmi les plus célèbres savants de son époque. Il devient à 21 ans le plus jeune membre de la *Royal Society*, puis, fasciné par les étoiles doubles dont il observe les rotations, il calcule leurs masses et prouve que les lois de Newton s'appliquent aussi aux distances phénoménales des étoiles.

Les discussions méthodologiques vont prendre une grande place au XIX<sup>e</sup> siècle, notamment parmi les philosophes britanniques qui, bien que s'inscrivant dans la lignée de Bacon, tendent à perfectionner son approche ou à s'en détacher à des degrés divers. Les titres de leurs œuvres reflètent ces préoccupations : William Whewell (1794–1866), ami de John Herschel, fait paraître en 1837 une *Histoire des Sciences Inductives* et en 1840 une *Philosophie des Sciences Inductives, fondée sur leur Histoire*, dont le titre lie bien l'histoire des sciences et la réflexion sur leur marche, tandis qu'en 1843, John Stuart Mill (1806-1873) publie son *Système de logique déductive et inductive*. Ces ouvrages seront retravaillés dans leurs rééditions, en 1847 et 1858-60 pour la *Philosophie* de Whewell, et jusqu'en 1865 pour Mill, notamment, pour ce dernier, du fait des échanges avec le “docteur Whewell”.

C'est l'époque où naissent les expressions *Histoire des sciences*, dans le titre de Whewell (1837), et *Philosophie des sciences*, qui se rencontre déjà chez Auguste Comte (1830).

Pour L. Laudan,

« Ce tournant, qui constitue **l'émergence de la philosophie des sciences** telle que nous la connaissons aujourd'hui, est de toute évidence d'une grande importance historique. » (1981, p. 17).

Ces auteurs emploient abondamment le terme *induction*, mais le sens n'en est pas le même pour tous : chez Herschel, il désigne le processus de *découverte* (discovery) qu'il sépare de la *vérification*, chez Whewell, il englobe l'ensemble du processus de recherche scientifique : il met sous ce terme, dira l'un de ses élèves, toute une boîte d'outils. Et chez tous, le terme *sciences inductives* désigne les sciences expérimentales, par opposition aux mathématiques. Une dénomination qui a d'ailleurs une conséquence néfaste :

« (...) beaucoup, (...) se fondant sur l'expression devenue usuelle de *sciences inductives*, se sont (...) habitués à **identifier méthode inductive et méthode expérimentale** » (Blanché, 1975, p. 15).

Le livre d'Herschel qui influence tant le jeune Darwin porte sur sa page de titre un portrait de Bacon, suivi d'une citation du même. Herschel suit son “immortel compatriote Bacon” et, comme lui, préconise une purification préalable de l'esprit avant une montée graduelle aux axiomes à partir de l'expérience, “source de toutes nos connaissances sur la nature”, en suspendant son opinion et en “se contentant d'observer *ce qui est*”. Puis les axiomes sont suivis dans leurs conséquences, une

---

<sup>232</sup> Comme le relate son arrière-arrière petit-fils Randal Keynes dans *Darwin, His Daughter & Human evolution*, Fourth Estate, 2001.

déduction menant aux propositions d'origine comme à d'autres dont on n'avait pas de connaissance antérieure (§ 68 et 96).

Mais bientôt Herschel s'écarte de l'induction baconienne qui n'est qu'une des voies, "la plus sûre" certes, mais pas unique, de l'induction ou découverte, et il écrit ce passage capital :

« Dans l'étude de la nature, on ne doit **pas s'inquiéter de comment on parvient** à la connaissance de faits généraux, dès lors qu'on les **vérifie avec soin** une fois détectés, on doit se satisfaire de les saisir où qu'on les trouve. Ce qui nous conduit à considérer la *vérification* des inductions. » (§170)

("In the study of nature, we must not, therefore, be scrupulous as to *how* we reach to a knowledge of such general facts: provided only we verify them carefully when once detected, we must be content to seize them wherever they are to be found. And this brings us to consider the *verification* of inductions.")

Le chapitre I de la partie I était nommé :

« De l'homme considéré comme un être d'instinct, de raison **et de spéculation** ».

L'Homme est un être naturellement spéculatif, dit-il en rendant hommage à la fécondité des rêves de Kepler ou des alchimistes. Pour lui,

« le véritable, l'unique caractère de la vérité est de supporter **l'épreuve de l'expérience** » (§6).  
("its capability of enduring the **test** of universal experience")

« Telle est la tendance de l'esprit humain à la spéculation, qu'à la moindre idée d'une analogie entre quelques phénomènes, il **bondit en avant** [*leaps forward*], pour ainsi dire, jusqu'à une cause ou une loi, et néglige temporairement tout le reste ; de sorte qu'en fait presque toutes nos inductions majeures doivent être regardées comme une série de montées et de descentes, de conclusions à partir de peu de cas, **vérifiées** par des essais sur beaucoup. » (§171).

La vérification d'une loi de la nature se fait par déduction et comparaison avec les faits, Herschel recommandant de se mettre à la place de ses adversaires pour ne se fier à la loi mise à l'épreuve que lorsqu'on lui aura en vain cherché des exceptions. Son importance sera estimée en fonction de la manière dont elle endure des essais extrêmement sévères ("endures this **extreme severity of trials**").

On peut suivre, dit-il, trois voies, trois processus de découverte : 1° par un raisonnement inductif, en généralisant, 2° en formant d'un coup une hypothèse hardie, 3° en adoptant une méthode qui combine ces deux approches (§210-211).

La voie la plus sûre est celle des inductions, mais :

« (...) **les hypothèses ont souvent un usage éminent**, et la **facilité à les forger**, si elle est liée à une égale facilité à les laisser de côté lorsqu'elles ont fait leur usage, est **l'une des qualités les plus précieuses** qu'un philosophe puisse posséder » (§216-217).

Elles peuvent être hardies, étranges ou même apparaître comme reposant à première vue sur d'inadmissibles postulats (§220) : *peu importe* comment elles ont été formulées, si elles résistent à des tests étendus. Les meilleures vérifications se faisant par la rencontre de cas extrêmes, ou par une extension inattendue, ou encore par la résistance à des expériences cruciales (*crucial instances*) telles que définies par Bacon.

Au final, dit Herschel, ce sont leurs applications qui constituent le critère ultime de leur vérité,

« (...) qui attestent la justesse des théories et en forment la **vérification** la plus complète qu'on en puisse avoir » (§8 : "such **applications** form the very **criterion of their truth**, they afford the readiest and completest verifications of his theories").

Dès 1830 Herschel redonne donc aux hypothèses leur place, distingue des voies diverses “montant” vers les causes ou les lois (*discovery*), avant une phase de *vérification* lors de laquelle ce qui compte surtout est la *sévérité des tests*, idée qui sera chère à Popper. Enfin, avant Bachelard, Herschel voit dans les applications des sciences leur meilleure confirmation.

Whewell et Mill, qui se placent également dans le prolongement de Bacon, veulent améliorer son approche inductive, et notamment ce qui pourrait permettre d’assurer la fiabilité d’une induction, sa *logique* disent-ils, qu’ils tentent de rapprocher de celle d’une déduction, où la conclusion s’ensuit inéluctablement. Whewell nomme *Novum Organum Renovatum* une réédition de la pièce majeure de son œuvre épistémologique (1858, deuxième partie de sa *Philosophie* de 1840), indiquant à la fois sa filiation avec le *Novum Organum* de Bacon et son intention rénovatrice. Un chapitre s’intitule *De la logique de l’induction* (1840b, XI, V) ; de son côté, le titre de Mill montre le parallèle qu’il fait entre logique déductive et “*logique inductive*”. Mais Whewell aborde cette question en historien des sciences et Mill en logicien, et là aussi les titres de leurs ouvrages sont révélateurs<sup>233</sup>.

Les deux hommes se sont malheureusement opposés –tout en s’admirant–, davantage, semble-t-il, sur des questions de forme et de définition que de fond. Mill reproche à Whewell le sens qu’il donne au mot *induction* (1843-65, III, II, 5),

Blanché (1975, p. 13) relève que l’un s’en tenant au sens classique de ce mot et l’autre se référant à la pratique des *sciences inductives*, ce malentendu “tourne à la querelle de sourds”.

Whewell finira par remplacer l’expression *philosophie de l’induction* par celle de *philosophie de la découverte*, titre d’un de ses livres (1860). Whewell donnait certes au mot induction une extension trop vaste, mais Mill ne simplifie pas non plus les choses puisque, comme on le verra ci-après, la première des trois étapes de sa “Méthode Déductive” est... une induction !

La *Philosophie des Sciences Inductives, fondée sur leur Histoire* présente (1840a, II, 19) “l’antithèse fondamentale de la philosophie”, qui est notre *débat épistémologique* : Whewell y montre l’opposition et les insuffisances des voies rationaliste et empiriste, et prône la coopération des deux approches d’une manière qui évoque irrésistiblement les araignées, fourmis et abeilles de Bacon, d’autant que Whewell lui reprend aussi l’image du savant comme “Interprète de la Nature”, “la science en est l’interprétation correcte”.

Whewell utilise également l’image de l’échelle ascendante et descendante de Bacon (1620, II, 21), et la rénove en un escalier (1840a, VI, 18). Mais alors que la certitude s’obtenait pour Bacon par une ascension prudente et graduelle, pour Whewell, il y a d’abord un “bond” :

« L’induction monte, la déduction descend, **un même escalier**. Mais leur allure est cependant très différente. La déduction descend d’un **pas assuré** et méthodique, degré par degré ; l’induction **monte par un bond** qui passe toute méthode. Elle bondit d’un seul coup **au sommet de l’escalier** ; et **alors c’est l’affaire de la déduction** que d’**éprouver** par ordre chaque degré, et d’établir ainsi la solidité du chemin parcouru par l’autre. »

Et c’est l’hypothèse qui assure le bond. Mill préfère pouvoir s’appuyer sur des marches solides à la montée, et fournit pour cela des « **canons de l’induction** » qui les renforcent, sans pour autant prétendre pouvoir parvenir à la certitude.

Devant un escalier qui est peut-être vermoulu, Mill sort le marteau, les clous et les planches de rechange que sont ses “canons”, tandis que Whewell, intrépide, saute d’un coup tout en haut, puis avance son pied pour tester la solidité des marches : quand cela tient, la descente est celle d’une déduction qui, fiable, confère à l’induction initiale la même fiabilité. William n’a nul besoin des

---

<sup>233</sup> *Histoire puis philosophie des sciences inductives* pour Whewell, *Système de logique* pour Mill.

outils de John Stuart, il ne construit pas à la montée mais éprouve à la descente. Et si, lors de son saut audacieux, le processus de découverte n'est pas logique, alors « **tant pis pour la logique** »<sup>234</sup> !

John Stuart Mill reconnaît d'ailleurs la valeur de ce processus, fructueux, qu'il veut davantage garantir par ses "canons" :

« **monter d'abord aux plus hautes généralisations**, et (...) en **déduire** les principes moyens : [ce] procédé n'est **ni vicieux, ni condamné** ; c'est **la méthode universellement accréditée de la science moderne**, celle à laquelle **elle doit ses plus grands triomphes**. L'erreur ancienne ne consistait pas à commencer par les plus vastes généralisations, mais à les faire sans l'aide ou la garantie de méthodes inductives rigoureuses, et à les appliquer déductivement sans **l'indispensable** emploi de cette importante partie de la Méthode **Déductive** qu'on appelle la **Vérification**. » (1843-65, VI, V, 5, p. 459).

Whewell, dans la première édition de sa *Philosophie des sciences inductives* (1840) se range très explicitement derrière Bacon, et débutant comme le Chancelier et avec des tournures semblables par une série d'aphorismes (cent pages) centrés sur *les idées et la raison* : la prise en compte de Kant semble pouvoir rénover la pensée de Bacon.

Dans la préface de la seconde édition (1847), il relativise cette adhésion : Bacon a seulement pressenti (*divined*) comment les sciences devaient être construites, et l'on peut retrouver, dans leur histoire, la manière dont leur construction s'est déroulée. Il parle des *conjectures* que fit Bacon avec sagacité : il faut qu'elles soient confirmées par ce qui s'est réellement passé dans la progression des sciences, notamment depuis son époque. Whewell applique à Bacon, en quelque sorte, la démarche qu'il préconise, en mettant les idées méthodologiques du Chancelier à l'épreuve de l'histoire des sciences :

« (...) bien que les **maximes générales** de Bacon guident et animent toujours les enquêteurs philosophiques, ses vues, dans leurs détails, se sont toutes révélées **inapplicables** : les **parties techniques** de sa méthode ont échoué dans ses mains, et sont oubliées chez ceux qui cultivent les sciences. »

Il décrit une méthode qui sera ultérieurement dénommée *hypothético-déductive*, même si certains auteurs<sup>235</sup> la distinguent de celle que décrira plus tard Popper, du fait que pour Whewell, influencé par Kant, le "bond" au sommet de l'escalier correspond à un travail propre de l'esprit qui "collige" un certain nombre de faits empiriques, un peu, pourrait-on dire en le paraphrasant, comme lier par une ficelle préexistante de l'esprit une botte de faits :

« les lourds épis et **le lien qui les lie**, sont également nécessaires » (1840b, XI, V, I, 1).

Kant disait en effet :

« (...) même à nos expériences, il se mêle des connaissances qui doivent avoir une origine *a priori* et qui peut-être servent seulement à fournir une **liaison** aux représentations des sens. » (1781, p. 34).

Le moyen de parvenir à une découverte est, pour Whewell, de "forger différentes *hypothèses d'essai* [*tentative hypotheses*]".

« Il faut **éprouver (test) la vérité des hypothèses d'essai** en les appliquant aux faits. Leur auteur doit être prêt à **contrôler (try)** ainsi soigneusement ses hypothèses, et à les rejeter si elles ne supportent pas **l'épreuve (test)**, quoi qu'il en coûte à sa paresse ou à sa vanité. » (1840b, Aphorismes VIII et IX).

Whewell analyse les démarches en historien des sciences :

---

<sup>234</sup> Lettre à A. de Morgan (18/1/1859), in Todhunter, I. (1876). *William Whewell, an account of his writings*, vol. II, p. 417, Macmillan.

<sup>235</sup> Tels Snyder, L.J. (1997). "Discoverers' Induction", *Philosophy of Science* n° 64, p. 580-604.

« Des découvertes véritables sont ainsi **mêlées de suppositions sans fondements** ; une profonde sagacité s'allie à des conjectures fantaisistes. **Ce n'est pas là chose rare**, spéciale à quelques cas, mais chose commune, qui se rencontre dans presque tous –probablement dans tous, si nous pouvions lire les pensées des auteurs comme nous lisons les livres de Kepler.<sup>236</sup> » (1840b, XI, V, II).

Il faut, dit-il, “quelque **hardiesse** et quelque **licence à deviner**” :

« **Deviner d'abord de travers** est, pour beaucoup de gens, le seul moyen pour finir par deviner juste » (*id.*).

Il envisage non seulement la formation d'hypothèses multiples dans l'esprit du chercheur, mais aussi le travail d'élimination qui en rejette avant même leur test :

« Dans la plupart des cas, si nous pouvions **vraiment analyser les opérations intellectuelles** de ceux qui font ou essaient de faire des découvertes scientifiques, nous trouverions que les suppositions qui leur traversent l'esprit sont beaucoup plus nombreuses que celles qu'ils expriment verbalement ; **bien des combinaisons possibles** de conceptions **sont formées et bientôt rejetées**. Une **activité inventive** est constamment en jeu, une **faculté créatrice** et **sélective** dont seuls les derniers résultats nous sont présentés. » (1840b, XI, IV, 8).

Même si certains aspects de la philosophie de Popper ne sont pas dans Whewell, et réciproquement, il paraît difficile de ne pas rapprocher cette procédure par *hypothèses* que l'on tente de *réfuter* (to form hypotheses and then to employ much labour in refuting), décrite comme *la règle*, du cheminement par *conjectures et réfutations* de Popper :

« **Former des hypothèses**, puis se donner beaucoup de peine et déployer beaucoup d'habileté à les **réfuter**, quand on ne réussit pas à les établir, cela **fait partie des procédures ordinaires des esprits inventifs**. Cette manière de faire **est la règle** chez ceux qui ont le génie de la **découverte**, plutôt que (...) l'*exception*. » (1840b, XI, V, II, 6).

La comparution du discours de l'esprit devant le cours des choses est au cœur du procédé :

« Ce qui caractérise le vrai savant, **ce n'est pas qu'il ne conjecture jamais au hasard**, c'est que ses conjectures **sont** clairement conçues, et **mises en contact rigoureux avec les faits**. » (*id.*).

« Si c'est un avantage pour la découverte de la vérité que d'avoir l'esprit ingénieux et fertile en hypothèses (...), c'est aussi une **condition indispensable** que d'apporter un soin attentif à **comparer ses hypothèses avec les faits**, et d'être **prêt à abandonner** son invention dès qu'il apparaît qu'elle ne **s'accorde pas** avec le cours réel des événements. **Comparer constamment ses propres conceptions et suppositions avec les faits** observés sous tous leurs aspects, **voilà la principale occupation de celui qui découvre** ; (...) il faut qu'il soit exempt (...) de l'aveuglement qui fait qu'on ne peut pas voir la contradiction **entre ce qu'on imagine et ce qu'on perçoit** » (1840b, XI, V, II, 7).

On est fort proche de la confrontation *entre ce qui pourrait être et ce qui est* de François Jacob.

Pour Whewell, même les hypothèses erronées sont utiles :

« Pour avancer dans la voie de la découverte, on a **constamment besoin d'hypothèses**, vraies ou fausses ».

Il repère un phénomène depuis souvent confirmé :

« (...) **leur trace disparaît** de la pensée » ;

« (...) **seule l'hypothèse qui a réussi conserve sa place** dans la mémoire » (XI, V, II, 8).

Description qui rejoint celle que fait l'historien des sciences Mirko Grmek du cheminement de Claude Bernard :

---

<sup>236</sup> Kepler expose tous les errements de sa pensée, ainsi sait-on qu'il fit 19 hypothèses sur le mouvement de Mars.

« La plupart des hypothèses de travail **succombaient en cours de route** et la lecture des publications de Bernard ne permet même pas de soupçonner leur existence éphémère. La découverte faite, ce feu d'artifice de mille et une hypothèses s'efface devant une seule trajectoire lumineuse : la montée apparemment solitaire de la bonne idée » (1991, p. 108).

Ses analyses permettent à Whewell de faire des prescriptions : « **faire des suppositions** », en « **tirer exactement les conséquences** », « jusqu'à ce que nous puissions comparer les deux », les résultats des raisonnements étant « susceptibles d'être **vérifiés ou contredits** par l'observation des faits » (XI, IV, 11).

La prudence consistant non à s'abstenir de former des hypothèses, mais à ce qu'elles soient dûment éprouvées :

« Il se peut donc que, pour découvrir les lois de la nature, on doive inventer bien des suppositions avant de tomber sur la bonne (...). La **facilité à forger** [*devising : inventer, imaginer*] **des hypothèses** est donc si **loin d'être un défaut** dans le caractère intellectuel d'un savant, qu'elle est, en vérité, une **faculté indispensable** à son travail de découverte. » (XI, V, II, 6).

Whewell reprend presque les termes de son ami Herschel (1830, §216), pour qui c'était l'une des qualités les plus précieuses qu'un philosophe puisse posséder.

Il vaut beaucoup mieux, dit-il, être trop prompt à imaginer que de se trouver à court d'inventions, idée que nous avons vu Diderot énoncer.

Une autre qualité est mentionnée (XI, V, III, 10) :

« Les hypothèses que nous acceptons doivent expliquer les phénomènes que nous avons observés. Mais elles doivent faire davantage : **elles doivent prédire** les phénomènes qui n'ont pas encore été observés »

La méthode que Whewell dit constater dans l'histoire des sciences, et qu'il recommande, comporte donc des hypothèses, même fausses ou non relatées par la suite, ainsi que leur mise à l'épreuve par les conséquences qu'on en tire, notamment concernant la *prédiction* de faits inconnus. Tous les ingrédients de la démarche hypothético-déductive semblent présents, et Peter Medawar (1972, p. 52-53) lui en attribue la priorité, en remarquant qu'elle resta dans l'ombre de celle de Mill pendant plus d'un siècle.

### **Whewell le rebelle.**

En considérant le fait d'imaginer des hypothèses comme indispensable, Whewell s'oppose radicalement à Newton.

C'est certainement l'auteur qui résiste le plus nettement au discrédit jeté par Newton et ses successeurs sur les hypothèses. Historien des sciences, il ne pouvait manquer de considérer et d'analyser la "sorte d'opprobre" qui pèse sur elles :

« bien des fois ceux qui font profession d'enseigner la philosophie ont **mis en garde** contre la pratique des hypothèses ; bien des fois ceux qui cultivent la science ont **désavoué** leur usage. » (1840b, XI, V, II, 8).

En 1840, il sonne la charge à trois reprises contre ce traitement (1840b, XI, V, II « du rôle des hypothèses » ; XI, VII « des lois des phénomènes et des causes », et XII, XIII « Newton »).

Il rappelle d'abord :

« Newton juge nécessaire de déclarer solennellement "hypotheses non fingo" » (1840b, XI, V, II, 8).

Mais il prend aussitôt Newton à contre-pied en donnant, comme exemple de ce que l'on a considéré comme "des tentations dangereuses et des guides fallacieux", non pas les hypothèses cartésiennes auxquelles Newton s'oppose, mais :

« les imaginations variées qui ont traversé le cerveau de **Kepler** (...), qui ont été blâmées et prises en pitié comme de lamentables exemples d'un esprit antiscientifique ».

Or, les travaux de Kepler sont justement... la source même de ceux de Newton.

Whewell suit ici une procédure assez comparable en efficacité à celle de Senebier mettant dans le même "sac" conjectural la théorie audacieuse de Le Sage et les "arrangements" que Newton s'autorise dans son *Optique* (voir partie 1.2.7.3.).

L'opposition à la condamnation est frontale. Il brave résolument l'interdit newtonien :

« l'homme ne peut envisager les phénomènes sans les habiller de quelque **hypothèse**, et **aucune semonce ne le fera renoncer** aux questions qui, à chaque instant, naissent en lui au **sujet des causes** des phénomènes. » (1840b, XI, VII, 10).

Poursuivant son affront, il évoque les "célèbres Règles pour Philosophe" des *Principia*,

« généralement citées et commentées avec une **révérence presque indiscutée**. De telles règles, provenant d'une telle autorité, ne peuvent manquer d'être hautement intéressantes pour nous ; mais dans le même temps, nous ne pouvons nous affranchir ici de la **nécessité d'examiner leur vérité** et leur valeur » (1840b, XII, XIII).

Whewell (1840b, XII, XIII) analyse la règle I, selon laquelle il ne faut admettre que des causes à la fois vraies<sup>237</sup> et suffisantes pour expliquer les phénomènes. Or, comment sait-on, quand on la recherche, qu'une cause est *vraie* ? Parce qu'on la sait cause d'autres phénomènes ? Mais alors c'est s'interdire de trouver des causes encore inconnues, et, ironise Whewell, si sur Terre le magnétisme masquait la gravitation, jamais Newton, en appliquant sa propre règle, n'aurait trouvé la "vraie cause". Suffit-il que ce soit une cause semblable à une autre connue dans la nature ? Mais alors cette règle « perd toute signification » et « **ne prohibe pas les hypothèses** » : les **tourbillons cartésiens** que vise Newton « sont, dans ce sens, au moins une cause aussi *réelle* que la gravité elle-même », puisqu'on voit aisément des tourbillons emporter de la poussière sur les routes.

Whewell montre que cette règle, destinée à chasser les hypothèses, n'y parvient pas.

C'était d'une grande audace de la part de Whewell, dit Peter Medawar (1963), parce que le mot "hypothèse" et ce qu'il recouvre restaient discrédités à l'époque :

« autour des hypothèses flottait le parfum de ce qui était licencieux et irresponsable. Le grand Newton, vous vous souvenez, avait désapprouvé les hypothèses. » (Medawar, 1963).

John Stuart Mill, de son côté, s'est rendu célèbre par ses "méthodes de recherche expérimentale" inspirées de Bacon, qu'il nomme "canons" (1843-65, III, VIII) : la méthode de concordance (proche de la table de présence chez Bacon), par exemple, consiste à considérer que si l'on sait que les causes *ABC* produisent les effets *abc*, et les causes *ADE* les effets *ade*, alors *A* cause *a*. Il décrit aussi la *méthode de différence* (proche de la table d'absence "dans la proximité" : si *ABC* cause *abc* et si *BC* cause *bc*, alors *A* cause *a*), celle des *variations concomitantes* (proche de la table des degrés de Bacon) et celle des *résidus*.

---

<sup>237</sup> Émilie du Châtelet donne : « Il ne faut admettre de causes, que celles qui sont nécessaires pour expliquer les phénomènes », occultant la condition "vraies causes", qui figure bien dans les textes anglais (*true*) et latin (*verae*) : "We are not to admit other causes of natural things than such as both are **true**, and suffice for explaining their phenomena" ; « Causas rerum naturalium non plures admitti debere, quam quæ & **veræ** sint & earum phaenomenis explicandis sufficient. »

Mill prend des exemples où *c'est le cas*, mais cela ne suffit pas à exclure des exemples où *ce n'est pas le cas* : ces canons sont utiles, mais non infallibles. Ainsi, Lalande (1929, p. 103-111) montre leur inefficacité formelle, par exemple dans le cas des variations concomitantes : si les cotations en bourse montent en même temps que les températures, cela prouve quoi ? Loin d'avoir une valeur canonique, dit-il, ce ne sont que "de bonnes habitudes d'esprit". Au mieux, ces canons mènent à... des hypothèses.

C'est d'ailleurs ce que reconnaît Mill lui-même (1865, III, IX, 6) en réponse aux objections faites par Whewell en 1860 : ses méthodes ne servent qu'aux "premiers pas", ensuite,

« (...) il est **rarement possible** (...) d'aller au-delà sans le secours de la Déduction et **sans l'aide temporaire des hypothèses**, comme je le soutiens, **avec le docteur Whewell, contre l'école empirique pure**. (...) Si ces méthodes n'avaient pas fourni les premières généralisations, les matériaux auraient manqué à la mise en œuvre de l'Induction, **telle même qu'il la conçoit**. »

Mill admet donc ici que ses canons ne sont qu'un préalable à l'usage des hypothèses.

Aller au-delà avec le secours de la déduction et l'aide des hypothèses, c'est employer ce qu'il nomme "la Méthode Déductive" (1865, III, XI, 1, p. 510), qui « consiste en trois opérations » :

« 1° une **Induction directe** ; 2° un **Raisonnement** ; 3° une **Vérification**. »

L'insistance de Mill sur les "canons" de l'induction fait qu'on a essentiellement retenu de lui l'image d'un promoteur d'une démarche inductive, justement, canonique, et ce d'autant plus aisément que ces canons sont aisés à repérer dans une œuvre prolifique<sup>238</sup>.

Or sa promotion des hypothèses et ses descriptions d'approches alternatives enrichissent considérablement son propos, la méthode qu'il nomme "déductive" étant, selon lui, à l'origine des plus grandes découvertes :

« C'est à la **Méthode Déductive**, ainsi définie dans ses trois parties constituantes, l'Induction, le Raisonnement et la Vérification, que l'esprit de l'homme doit ses **plus éclatants triomphes dans l'investigation de la Nature**. » (1865, III, XI, 3, p. 520).

Cette méthode possède une version accélérée nommée "Méthode Hypothétique", et dans ce cas Mill, théoricien de l'induction, n'hésite pas à *supprimer* l'induction :

« les hypothèses sont **inventées** pour hâter l'application de la Méthode Déductive. (...) la Méthode Hypothétique **supprime** la première de ces trois opérations (**l'Induction** établissant [*ascertain*] la loi) et se contente des deux autres (le Raisonnement et la Vérification). La loi dont on **déduit** des conséquences est **supposée** » (III, XIV, 4, p. 7).

Mill choisit pour illustrer cette méthode des hypothèses... Newton, justement dans le cas où celui-ci s'est le plus défendu d'en avoir fait usage, et surtout d'avoir utilisé les deux que Hooke lui a proposées, l'inflexion et l'ISL, explicitement exposées :

« Newton commença par la **supposition** que la force qui à chaque instant détourne une planète de sa route rectiligne (...) est une force tendant directement vers le soleil. (...) Il **supposa** que la force varie en raison inverse du carré de la distance ; il montra ensuite que les deux autres lois de Kepler se **déduisaient** de cette **supposition** » (III, XIV, 4, p. 10).

Comme Dugald Stewart (1792, partie 1.2.7.3.), Mill fait ici revivre le spectre de Hooke que Newton s'était évertué à faire disparaître, quand il ajoute :

« (...) ce rôle des **hypothèses** est **absolument indispensable** dans la science » (III, XIV, 5, p. 14).

---

<sup>238</sup> L'édition française moderne de sa *Logique* (Mardaga, 1988), de 1106 pages, ne présente que quatre de ses six livres.

Il se refuse à prendre à la lettre l'interdit :

« (...) lorsque Newton dit : *hypotheses non fingo*, il ne voulait pas dire qu'il renonçait lui-même à faciliter sa recherche en supposant par avance ce qu'il espérait être en mesure de prouver à la fin. **Sans ces suppositions, la science ne serait jamais arrivée où elle est** » (III, XIV, 5).

Mill vient ainsi épauler Whewell :

« Newton (...) ne dit nulle part explicitement ce qu'il entendait par une *vera causa*, et le docteur Whewell, qui **n'admet pas cette restriction à la liberté de faire des hypothèses**, n'a pas de peine à montrer que son idée n'était ni précise, ni conséquente, et que sa théorie optique était un **exemple frappant de la violation de sa propre règle**. » (1843-65, III, XIV, 4).

Les condamnations de Newton sont pourtant sans ambiguïté, mais se comprennent mieux s'il les a énoncées pour se défendre d'avoir utilisé les hypothèses... des autres.

Mill en vient à des considérations qui seront très développées par la suite :

« (...) presque tout ce qui est maintenant théorie **fut d'abord hypothèse**. Même dans la science purement expérimentale, **il faut quelque ouverture** pour faire une expérience plutôt qu'une autre » (III, XIV, 5).

Il distingue avant Claude Bernard, mais sans les nommer ainsi, et bien après Rohault, les expériences "pour voir" et les expériences "de contrôle" :

« (...) bien que, absolument parlant, il fût possible que toutes les expériences eussent été entreprises uniquement en vue de **constater ce qui arriverait** en telles ou telles circonstances, sans aucune conjecture sur le résultat, cependant, en fait, les opérations si laborieuses (...) qui ont jeté le plus de lumière (...) n'auraient probablement jamais été entreprises (...) si l'on n'avait pas cru pouvoir, par leur moyen, **décider de la vérité ou de la fausseté** de quelque théorie mise en avant, mais non prouvée. » (III, XIV, 5).

Des détails de grande valeur épistémologique sont même fournis, qu'on ne retrouvera guère qu'avec Bachelard, Medawar et Popper :

« On commence par faire une supposition, **souvent fausse**, pour voir quelles conséquences s'ensuivraient ; et en observant en quoi elles diffèrent des phénomènes réels, on est averti des **corrections à faire à l'hypothèse**. (...) La comparaison des conséquences déductibles de l'hypothèse rectifiée avec les faits observés suggère encore une correction, jusqu'à ce qu'enfin les résultats déduits cadrent avec les phénomènes. » (III, XIV, 5).

« Il est permis, il est utile, et même parfois nécessaire, de commencer par se demander quelle cause **peut avoir produit** [*may have produced*] tel effet, pour savoir dans quelle direction il faut chercher la preuve qu'**elle l'a produit** [*actually did*]. » (III, XIV, 6).

Medawar dit la même chose, avec de semblables italiques aux mêmes endroits :

« (...) la saisie par l'imagination de *ce qui pourrait être vrai* [**what might be true**] fournit le stimulus pour trouver, autant que possible, ce qui *est vrai* [**what is true**]. » (1967, p. 118).

Mill cite, au passage, Auguste Comte (1835), lorsqu'il indique les limites de l'induction et de la déduction pures :

« (...) l'une et l'autre voie seraient certainement insuffisantes, même à l'égard des plus simples phénomènes, (...) si l'on ne commençait souvent par **anticiper** sur les résultats en faisant une **supposition provisoire**, d'abord essentiellement **conjecturale** ».

Mais Comte sépare les hypothèses en deux classes, celles relatives aux *lois* et celles qui concernent des *causes*, et pour lui « les premières sont seules admissibles », tandis que Mill, en accord avec Whewell, dit expressément le contraire :

« N'est-il donc jamais permis, dans une hypothèse scientifique, de supposer une **cause**, mais seulement d'assigner une **loi** supposée à une cause connue ? Je ne dis pas cela. » (1843-65, III, XIV, 4).

Commentant la résolution newtonienne de ne s'intéresser qu'aux lois et non aux causes des phénomènes, afin de s'en tenir à ce qu'on peut induire de ceux-ci sans rien supposer, Whewell déclare :

« **proscrire l'investigation des causes serait anéantir la science** » (1840b, XI, VII, 11).

Cette investigation nécessitant des hypothèses, c'est dire avant Claude Bernard que le jour de la dernière hypothèse serait le dernier jour de la science (*Principes*, p. 77).

Bien que soutenu par Mill malgré leur opposition sur d'autres points, Whewell n'a pas été suivi :

« le **large mouvement d'empirisme** qui se dessinait en Angleterre à cette époque (...) donnait un air périmé à son rationalisme. » (Lalande, 1929, p. 102).

Il avait été ordonné prêtre et son idéalisme était associé avec sa théologie qui, de plus, lui faisait rejeter le darwinisme.

Or Darwin commence son *Origine des espèces* (1859) par... une citation de Whewell.

### **Le jeune anglais de retour.**

Quand Darwin, après son tour du monde, élabore une théorie nouvelle qu'il publie dans *De l'origine des espèces* (1859), il est anxieux du jugement méthodologique de ses pairs.

C'est d'abord son professeur de géologie, Adam Sedgwick, qui lui écrit : « vous avez déserté la vraie méthode d'induction », dans une lettre qu'il termine en se qualifiant lui-même avec humour de « fils de singe et vieil ami à vous » (24 nov. 1859)<sup>239</sup>. Il déclare à une séance de la *Philosophical Society* (7 mai 1860) :

« (...) la théorie de Darwin n'est **pas inductive** —elle n'est pas **basée** sur une série de **faits** connus, menant à une conclusion générale, logiquement **extraite des faits**. (...) les seuls faits qu'il prétend fournir en guise d'éléments de preuve sont les variétés issues de la domestication et les artifices des croisements reproducteurs » (*More Letters*, I, p. 149)<sup>240</sup>.

Sa théorie, dit-il, est une vaste pyramide reposant sur la pointe ! Darwin, n'établissant pour lui pas de loi fiable, rendra quand même de grands services en... simplifiant les classifications !

Darwin ne comprend pas qu'on lui reproche son hypothèse alors que d'autres en on fait, sans qu'on s'en offusque, par exemple sur la lumière ou l'existence de l'éther —et Newton était justement de ceux-là.

« (...) **pourquoi ne puis-je pas inventer l'hypothèse** de la Sélection Naturelle (...) et **tester si cette hypothèse** (*try whether this hypothesis*) de la Sélection Naturelle **n'explique pas** (comme je pense qu'elle le fait) un large éventail de faits (...). J'aimerais vraiment bien savoir pourquoi une hypothèse telle que l'ondulation de l'éther peut être inventée, et pourquoi je ne peux inventer (non que je l'aie inventée, car j'y ai été conduit par l'étude

<sup>239</sup> *The Correspondence of Charles Darwin*, vol. 7, Cambridge University Press, 1992, p. 396.

<sup>240</sup> *More letters of Charles Darwin: A Record of His Work in a Series of Hitherto unpublished Letters*, I, Kessinger Publishing, 2005.

des variétés domestiques) aucune hypothèse, telle que la Sélection Naturelle. (...) Je peux parfaitement comprendre Sedgwick ou quiconque disant que la Sélection Naturelle n'explique pas une large classe de faits ; mais c'est très différent de dire que je m'écarte des **véritables principes de l'investigation scientifique**. » (*More Letters*, I, p. 150).

Et le triumvirat de philosophes ? Herschel et Whewell ne jugent pas la méthode mais le fond : croyants, ils sont choqués. Pour Herschel, c'est la "loi du n'importe quoi" (*the law of higgledy-piggledy*)<sup>241</sup> ! Tous deux sont certes favorables aux spéculations, mais là...

Mill est d'un autre avis, que Darwin apprendra ainsi d'un correspondant (Henry Fawcett) :

« J'ai passé une soirée la semaine dernière avec mon ami John Stuart Mill, et je suis sûr qu'il vous plaira d'entendre, provenant d'une telle autorité, qu'il considère que votre raisonnement est d'un bout à l'autre **en accord le plus exact avec les principes stricts de la logique**. Il a aussi dit que la méthode d'investigation que vous avez suivie est la seule convenable pour un tel sujet. »

Il est facile, conclut l'auteur de la lettre, quand on ne peut répondre à vos arguments, de prononcer ce lieu commun qu'est "**ce n'est pas une induction Baconienne**" (16 juillet 1861 ; *More Letters*, I, p. 189).

Darwin répondra :

« (...) vous ne pouviez pas m'avoir dit quelque chose qui m'ait donné plus de satisfaction que ce que vous avez dit de l'opinion de M. Mill. (...) je commençais à penser que **peut-être je ne comprenais rien du tout au raisonnement scientifique** » (*More Letters*, I, p. 189).

Mill ajoute en effet, en note à son *Système de logique* :

« (...) la **remarquable spéculation de M. Darwin** (...) est encore un exemple irréprochable d'une hypothèse légitime. (...) Il n'est pas juste d'accuser, comme on l'a fait, M. Darwin de violer les règles de l'induction. Les règles de l'induction sont relatives aux conditions de la Preuve. M. Darwin n'a jamais prétendu que sa théorie était prouvée. Il n'était pas lié par les Règles de l'Induction, mais par celles de l'Hypothèse ; et celles-ci ont rarement été plus complètement observées. Il a ouvert une voie de recherche pleine de promesses, dont personne ne peut prévoir les résultats. » (XIV, 5).

« Jetant un regard rétrospectif » sur sa vie, Darwin explique sa manière de procéder dans son autobiographie :

« Je me suis toujours efforcé de garder l'esprit libre, de façon à **abandonner une hypothèse, même séduisante** (et **je ne peux m'empêcher d'en formuler sur tous les sujets**), dès que les faits s'y trouvent opposés. **En aucun cas je n'aurais pu agir autrement**, car à l'exception des récifs coralliens, je ne peux me rappeler une seule hypothèse qui, d'abord formulée, n'ait **été ensuite abandonnée ou profondément modifiée**. » (1876, p. 124).

Sa correspondance comporte encore ces réflexions méthodologiques :

« Tous les jeunes géologues sont très attirés par la spéculation ; je m'y suis bien **brûlé les doigts** et peut-être maintenant suis-je trop réticent ; et je me sens enclin à trouver à redire à la spéculation lorsque l'effet direct et immédiat d'une cause en question ne peut être montré. (...) Je ne peux avoir de doute sur le fait que **les hommes spéculatifs**, quand ils savent **se freiner**, font de loin **les meilleurs observateurs**. » (1850, *More Letters* II, p. 133)<sup>242</sup>.

« Il y a à peu près trente ans on disait beaucoup que les géologues devaient seulement **observer** et **non théoriser** ; et je me rappelle bien quelqu'un disant qu'à ce compte, un homme pouvait aussi bien aller dans une gravière et **compter les pierres et décrire les couleurs**. Comme il est étrange que personne ne voie que **toute**

<sup>241</sup> *The Life and Letters of Charles Darwin, II*, Adamant Media Corporation 2000, p. 37.

<sup>242</sup> *More letters of Charles Darwin, II*, Adamant Media Corporation, 2003.

**observation** doit être **pour ou contre quelque point de vue** si l'on veut qu'elle soit d'un quelconque service ! » (1861, *More Letters*, I, p. 195).

Karl Popper citera cette dernière phrase quand il critiquera la place première attribuée à l'observation (1979, p. 389).

Darwin narre son cheminement méthodologique dans son autobiographie : après être parti avec le livre d'Herschel, il revient en Angleterre et veut travailler, en 1837, en collectant les faits “de tous côtés” et sans théorie, à “l'exemple de Lyell en géologie”.

« En octobre 1838, c'est-à-dire **quinze mois après le début de mon enquête systématique**, il m'arriva de lire, pour me distraire, l'essai de Malthus sur la *Population* ; (...) **l'idée me vint tout à coup** que (...) les variations favorables auraient tendance à être préservées » (1876, p. 99-100).

Quinze mois de collecte de faits n'ont donc abouti à aucune théorie, qui aurait dû en être extraite selon l'approche baconienne, tandis qu'une seule lecture externe la lui fournit.

Pour Ernst Mayr, la révolution darwinienne s'accompagne d'une “innovation méthodologique” par « **l'application de la méthode hypothético-déductive** » (1982, p. 667).

« La démarche consiste, dans un premier temps, à “**spéculer**” **comme disait Darwin**, c'est-à-dire (...) qu'on peut formuler des hypothèses basées sur des observations, hypothèses testées à leur tour par de nouvelles observations. C'était ce qu'il faisait. » (1982, p. 53).

« Le chapitre X [de l'*Origine des espèces*] représente une **application magistrale de la méthode hypothético-déductive**. » (1982, p. 580).

M.T. Ghiselin, auteur en 1969 de *The Triumph of the Darwinian Method*, revient sur cet aspect dans la préface d'une réédition en 2003 :

« Ma suggestion, selon laquelle la méthode de Darwin approche le **modèle hypothético-déductif**, a été **bien reçue** » (Dover, 2003, p. viii).

À propos de Darwin, le biologiste et prix Nobel Peter Medawar fait une remarque intéressante (1969, p. 11) : rares sont, selon lui, les scientifiques qui se font une idée exacte de leurs propres cheminements, et rares sont ceux qui en parlent. Il fait remarquer que Bacon est un juriste, Mill, un sociologue, Whewell, en sciences, surtout un nomenclateur (qui invente anode, cathode, ion, éocène, miocène...), Peirce et Popper, de grands philosophes. Nous avons au moins rencontré Pascal et Hooke, mais Medawar, qui en est lui-même un autre exemple, s'interroge : pourquoi les scientifiques n'exposent-ils pas leur propre méthodologie ? « L'un d'eux le fit : **Claude Bernard** », mais, remarque-t-il, sans grand impact dans le monde anglophone. Cependant,

« (...) les **jugements les plus avisés sur la méthode scientifique** jamais portés par un chercheur furent en vérité ceux d'un grand biologiste, **Claude Bernard** » (1969, p. 2).

Voilà qui nous ramène en France, que nous avons quittée avec Lavoisier, et la voie qui mène de celui-ci à Claude Bernard passe par un autre éminent chimiste, Eugène Chevreul.

### **1.2.8.2. Le “doyen des étudiants de France” : Chevreul et sa méthode expérimentale**

Lavoisier redoutant la tendance de notre imagination à nous porter sans cesse au-delà du vrai, voulait supprimer autant que possible le raisonnement, ou tout au moins le *redresser* continuellement par l'expérience.

S'en tenir aux faits est, depuis la déroute des fictions cartésiennes devant Newton, une attitude toujours répandue au temps de Lavoisier puisqu'après Deluc (1779), un chimiste contemporain, Guyton de Morveau, remarque à son tour en 1786 :

« (...) il y a une foule de gens qui ne cessent de crier, **des faits ! des faits !** »<sup>243</sup>.

Eugène Chevreul (1786-1889), au début du XIX<sup>e</sup> siècle, va s'intéresser de près à la signification des faits. Le "Nestor de la chimie", qui dirigea de nombreuses années le *Muséum national d'histoire naturelle* à partir de 1836, est devenu célèbre pour ses travaux sur les corps gras, (qui le feront notamment trouver de quoi ils sont composés, nommer la margarine et le cholestérol ou encore inventer la bougie moderne), les couleurs ou la photographie. Il l'est aussi pour sa longévité, "doyen des étudiants de France" qui avait à la fois causé avec quelqu'un ayant connu Louis XIV et assisté, en allant sur ses 103 ans, à la construction de la Tour Eiffel.

Georges Canguilhem (1968, p. 153 et 166) et Jean Gayon (1996) relèvent la dette de Claude Bernard envers les thèses méthodologiques de Chevreul, que le physiologiste reconnaît d'ailleurs :

« il n'est pas permis de commenter la première partie de l'*Introduction* sans tenir compte des relations de Cl. Bernard et de Michel-Eugène Chevreul, du **dialogue ininterrompu entre les deux maîtres du Muséum**, au Muséum même, de **la lecture de Chevreul par Cl. Bernard**. Si Chevreul n'est cité que dans l'introduction de l'*Introduction*, **les références à ses thèses méthodologiques y sont fréquentes**, quoique moins nombreuses et moins explicites que dans la troisième des *Leçons de physiologie opératoire*. (...) la fameuse **définition du fait comme abstraction** a été longuement méditée par Cl. Bernard. » (Canguilhem, 1968, p. 153)<sup>244</sup>.

Dans son premier livre (1823), Chevreul déclare :

« Il est préférable pour les progrès de la science de rassembler le plus possible de **faits** analogues, de les coordonner ensemble, afin d'en **déduire** les conséquences **générales**, qui seules peuvent imprimer à un **ensemble de faits** le caractère constitutif de la science. »<sup>245</sup>

Et il attribue à Newton, classiquement, la méthode qu'il défend, Newton qui décomposait et recomposait la lumière comme lui le fait avec les corps gras. Il dose notamment par une méthode colorimétrique le nouveau corps nommé cholestérol, ce qui le rend spécialiste des colorants : le voilà nommé en 1824 par Louis XVIII directeur des teintures de la Manufacture Royale des Gobelins. Mais on s'y plaint du manque de stabilité de certaines teintes : le noir qui sort des ateliers n'est pas noir noir, et monsieur le directeur, à force d'expériences, se rend compte que « le défaut de vigueur reproché aux noirs tenait à la couleur qu'on y juxtaposait ». Ampère l'incite à en tirer une loi, ce qu'il fait : deux couleurs qui se touchent paraissent les plus dissemblables possibles. C'est, dit-il, "une modification qui se passe en nous" : dès lors, le crédit à accorder aux "faits" est relatif, et il en vient, en 1856, et tout en veillant aux tons roses des meubles de l'Impératrice, à cette idée alors très originale que « **le fait est une abstraction** ».

« Vous voyez, monsieur et illustre collègue, écrit-il, combien est grande **l'illusion** de ceux qui prétendent que les sciences dites *positives* ne se composent que de ce qu'ils appellent des *faits* » (1856, p. 60).

Chevreul précise en quoi les faits sont des abstractions :

---

<sup>243</sup> Guyton de Morveau, L.-B. (1786). *Encyclopédie méthodique, Chimie, pharmacie et métallurgie*, t. 1, p. III, Panckoucke.

<sup>244</sup> En réalité, Cl. Bernard ne se réfère à Chevreul, dans la troisième leçon, qu'à propos de sa définition du *fait* comme « une pure abstraction » (p. 41-42). C'est dans la deuxième leçon qu'il écrit (p. 25) :

« Chevreul donne à l'expérience le nom de *méthode expérimentale à posteriori* ; c'est que, dit-il, l'observation nous montre un phénomène, puis, pour reproduire ce phénomène qui s'est spontanément présenté, pour vérifier l'idée que nous nous en faisons, nous instituons une expérience. C'est à ce travail de vérification qu'il donne le nom d'expérience. » *Leçons de physiologie opératoire*, Baillièrre et fils, 1879.

<sup>245</sup> Chevreul, E. (1823). *Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale* introduction.

« On dit que la chimie se compose de faits, mais des **faits seuls** ne constituent pas cette science ; car lorsqu'on donne des définitions générales (...) il a fallu nécessairement **interpréter** des faits déjà observés pour établir les rapports qui les lient » (1823, p. iii).

Une idée déjà exprimée par Kant :

« il se pourrait bien que même notre connaissance par expérience fût **un composé** de ce que nous recevons des impressions sensibles et de ce que notre propre pouvoir de connaître (...) produit de lui-même : **addition que nous ne distinguons pas** de la matière première jusqu'à ce que notre attention y ait été portée par un long exercice qui nous ait appris à l'en séparer. » (1787, p. 31-32).

C'est l'idée, aujourd'hui répandue, que nos sensations sont "colorées" par le verre de nos lunettes conceptuelles. Chevreul nomme les faits des *abstractions précisées*<sup>246</sup>.

Marika Blondel-Megrelis (1997), étudiant *L'intérêt pour la méthode* de Chevreul<sup>247</sup>, conclut :

« Ne plus tenter, donc, d'**éliminer** – pratique illusoire – mais **contrôler** l'interprétation ».

Un contrôle rendu nécessaire par l'irrépressible tendance de l'esprit humain à s'aventurer au-delà des faits :

« *La méthode a posteriori expérimentale*, telle que je l'envisage, repose sur le **contrôle**, conformément à l'idée que je me fais de la **faiblesse** de l'esprit humain, puisque l'expérience, instituée par l'esprit de l'homme, fidèle à cette méthode, a pour objet de **vérifier si l'interprétation** d'un phénomène est exacte » (Chevreul, 1865, p. 236).

Dès 1850, il précise dans le *Journal des Savants* (p. 72-73) sa définition de la **méthode expérimentale**, qu'il démarque de la simple exécution d'expériences :

« Si nous avons eu plusieurs fois l'occasion d'entretenir les lecteurs du *Journal des Savants* de la **Méthode expérimentale**, il ne sera pas superflu d'insister de nouveau sur la définition que nous en donnons, parce qu'on appréciera la **différence de notre manière de voir d'avec celle dont on l'envisage communément**. (...) aucun effet observé n'est simple, aussi ; que notre attention se fixe sur un phénomène, et, aussitôt, excités par le désir de connaître, nous nous en efforçons d'en découvrir la cause (...). Après l'**observation** (...) vient donc le **raisonnement** ; mais celui-ci (...) nous conduit à instituer des **expériences** afin de **convertir la supposition en certitude**, ou d'en apprécier le degré de **probabilité**, ou enfin de la rejeter comme une erreur, si elle n'est pas fondée. » (Février 1850).

Il résume en 1856 :

« Un phénomène frappe vos sens, vous l'**observez** avec l'intention d'en découvrir la cause, et pour cela **vous en supposez une** dont vous cherchez la **vérification** en instituant une expérience (...). Ce raisonnement constitue la **méthode que j'appelle expérimentale**, parce qu'en définitive l'expérience est le **contrôle**, le **critérium** de l'exactitude du raisonnement dans la recherche des causes ou de la vérité » (1856, p. 26-28).

Cette disposition d'esprit possède une portée générale :

« Il convient de ne s'étonner de rien, de tout observer et **soumettre au contrôle** de l'expérimentation »<sup>248</sup>,

disait-il, et Claude Bernard le rejoint :

« Il faut admettre tout comme **possible**, mais il faut **tout vérifier**. » (*Principes*, p. 250).

<sup>246</sup> Berthelot, M. (1904). « Notice historique sur la vie et les travaux de M. Chevreul », in *Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de France*, 1904, t. 47, p. CDXI.

<sup>247</sup> In Roque, G., Bodo, B., Viénot, F. (coord.) (1997). *Michel-Eugène Chevreul. Un savant, des couleurs !* Éd. du Muséum national d'Histoire naturelle, p. 86.

<sup>248</sup> Berthelot, M. (1904). *Op. cit.*, p. CDXI.

Chevreul fait ainsi l'examen *De La baguette divinatoire, du pendule dit explorateur et des tables tournantes* (1854).

Il donne, pour la méthode, les mêmes **trois temps** qui étaient chez Diderot :

- « 1° L'**observation** d'un phénomène ;
- 2° Le **raisonnement** (...);
- 3° L'**expérience**, pour **contrôler** la conclusion du raisonnement. » (1866, I, II, 18).

Trois temps qui sont aussi chez Mill (partie 1.2.8.1.), qui met "induction" à la place d'observation, étape que l'on peut supprimer pour aboutir à la "Méthode Hypothétique" avec laquelle il rejoint Whewell, et pour Chevreul aussi,

« aucune science expérimentale n'est exempte d'**hypothèses** » (1866, I, III).

### 1.2.8.3. Claude Bernard, "sur les ailes d'une hypothèse"

**L'empirisme est un donjon étroit et abject d'où l'esprit emprisonné  
ne peut s'échapper que sur les ailes d'une hypothèse.  
(Principes).**

Ces étapes sont aussi celles qu'on retrouve chez Claude Bernard dans l'*Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (1865, p. 54), selon un schéma qui est à nouveau présenté dans les *Principes de médecine expérimentale* qui lui font suite (rédigés de 1862 à 1877, parus seulement en 1947, p. 78) :

« Le savant complet est celui qui embrasse à la fois la théorie et la pratique expérimentale. 1° Il **constate** un fait ; 2° à propos de ce fait, une **idée** naît dans son esprit ; 3° en vue de cette idée, il **raisonne**, institue une **expérience**, en imagine et en **réalise** les conditions matérielles. »

L'anticipation de l'esprit sur l'expérience est clairement énoncée :

« Il y a donc deux opérations à considérer dans une expérience. La première consiste à **préméditer** et à réaliser les conditions de l'expérience ; la deuxième consiste à constater les résultats de l'expérience. Il n'est **pas possible d'instituer une expérience sans une idée préconçue** ; instituer une expérience, avons-nous dit, c'est poser une question ; on ne conçoit jamais une question sans l'idée qui sollicite la réponse. Je considère donc, en **principe absolu**, que l'expérience doit toujours être instituée **en vue d'une idée préconçue**, peu importe que cette idée soit plus ou moins vague, plus ou moins bien définie. (...) On pourrait encore distinguer et séparer dans l'expérimentateur celui qui **prémédite et institue** l'expérience de celui qui en **réalise l'exécution ou en constate** les résultats. » (1865, p. 53).

« (...) ce n'est qu'après qu'il aura constaté les résultats de l'expérience (...) que son esprit reviendra pour raisonner, comparer et **juger si l'hypothèse expérimentale est vérifiée ou infirmée** par ces mêmes résultats. » (1865, p. 52).

Georges Canguilhem qualifie ainsi l'*Introduction* :

« un long plaidoyer pour **le recours à l'idée dans la recherche**, étant entendu qu'une idée scientifique est une idée **directrice** et **non une idée fixe**. » (1968, p. 233).

On y lit en effet :

« l'hypothèse expérimentale n'est que **l'idée scientifique**, préconçue ou anticipée. (...) tout se ramène primitivement et finalement à une idée », qui constitue "le **point de départ** de tout raisonnement scientifique" (1865, p. 56).

Et la tête doit diriger la main :

« Il suffira de retenir en principe que l'idée *a priori* ou mieux **l'hypothèse est le stimulus de l'expérience** » (p. 55).

Elle est la raison d'être de l'expérience :

« Il serait impossible de séparer ces deux choses : la tête et la main. Une main habile sans la tête **qui la dirige** est un instrument aveugle ; la tête sans la main qui réalise reste impuissante. » (1865, p. 27).

Claude Bernard affirme avec force le rôle fondamental de l'hypothèse dans la méthode expérimentale : l'expérience contrôle l'idée, la rectifie, mais ne l'instaure pas. Cet aspect est à ce point primordial qu'il qualifie la méthode expérimentale de **raisonnement** :

« La méthode expérimentale, considérée en elle-même, n'est rien autre chose qu'un **raisonnement** à l'aide duquel nous **soumettons** méthodiquement **nos idées à l'expérience des faits**. » (1865, p. 26).

« La méthode expérimentale, en tant que méthode scientifique, repose toute entière sur la **vérification expérimentale d'une hypothèse scientifique** ». (1865, p. 304).

Aussi bien dans l'*Introduction* (p. 86) que dans les *Principes* (p. 210), les hypothèses sont déclarées indispensables,

« comme les **échafaudages** sont nécessaires pour construire une maison. » (1865, p. 86).

Nombreux sont ses appels en faveur de celles-ci, par exemple :

« **Sans hypothèse**, c'est-à-dire sans une anticipation de l'esprit sur les faits, **il n'y a pas de science, et le jour de la dernière hypothèse serait le dernier jour de la science** » (*Principes*, p. 77).

« **Sans l'hypothèse** et la théorie qui sont les flambeaux qui dirigent l'homme, **on n'expérimente pas** et on reste dans un obscur empirisme. » (*Principes* p. 226).

La première opération, dit-il, « consiste à **préméditer** » :

« Je considère donc, en **principe absolu**, que l'expérience doit toujours être instituée **en vue d'une idée préconçue**, peu importe que cette idée soit plus ou moins vague, plus ou moins bien définie. » (1865, p. 53).

« Il faut **lancer son hypothèse en avant comme un colimaçon** lance ses cornes pour sonder et palper l'espace. Dès qu'il sent quelque obstacle, il les retire pour les étendre de nouveau à côté, et cette figure représente l'état de **tâtonnement** dans lequel se trouve l'expérimentateur. » (*Principes*, p. 78).

Claude Bernard tient à se démarquer de Bacon justement parce que ce dernier se méfie des hypothèses et ne les préconise qu'en tant qu'aide, précieuse mais marginale. Il analyse ainsi les apports de Bacon dans l'*Introduction* (p. 86) et dans les *Principes* (p. 210) :

« L'induction baconienne est devenue célèbre et on en a fait le principe fondamental de toute philosophie scientifique. (...). L'idée baconienne de la grande restauration des sciences est une idée sublime ; on est **séduit et entraîné malgré soi par la lecture du *Novum organum*** (...), et on reste dans une admiration soutenue en face de cet amalgame des vérités scientifiques les plus saisissantes revêtues des formes poétiques les plus élevées.

Bacon s'est véritablement **posé en législateur** dans le domaine des sciences et il est impossible de parler philosophie scientifique sans le citer perpétuellement. »

Mais si Bacon « a conçu si puissamment et si clairement **l'importance et le but de la méthode expérimentale** dans les sciences », il n'en a pas compris le mécanisme, contrairement à Galilée et Torricelli qui l'ont « si admirablement pratiquée ».

Il fait une cependant lecture fructueuse du *Novum Organum*, lui empruntant nombre de ses images et une partie de son vocabulaire, comme en atteste ce comparatif, où figure également, entre eux, Diderot :

| Francis Bacon<br>(1561-1626)   | Denis Diderot<br>(1713-1784)  | Claude Bernard<br>(1813-1878)  |
|--|---|--|
| « pour plus de clarté, nous nommerons (...) <i>interprétation de la nature</i> cette raison qui est tirée des choses, selon la méthode exigée. » (I, 26).  | <i>Pensées sur l'interprétation de la nature</i> (1753).  | « l'hypothèse expérimentale, c'est-à-dire l' <b>interprétation</b> anticipée des phénomènes de la nature » (1865, p. 65).  |
| « les empiriques, à la manière des fourmis, se contentent d'amasser et de faire usage ; les rationnels, à la manière des araignées, tissent des toiles à partir de leur propre substance ; mais <b>la méthode de l'abeille tient le milieu</b> : elle <b>recueille</b> sa matière des fleurs des jardins et des champs, mais la <b>transforme</b> et la digère par une faculté qui lui est propre. » (I, 92).  | « c'est le <b>travail de l'abeille</b> . On a battu bien du terrain en vain, si on ne rentre pas dans la ruche chargée de cire. On a fait bien des <b>amas</b> de cire inutile, si on ne <b>sait pas en former</b> des rayons. » (1753, §9).  | « Le savant ne peut devenir <b>architecte qu'après avoir été maçon</b> . Sans doute, il est beaucoup de travailleurs qui n'en sont pas moins utiles à la science lorsqu'ils se bornent à lui apporter des faits bruts ou empiriques. Cependant le vrai savant est celui qui <b>trouve les matériaux</b> de la science et qui <b>cherche en même temps à la construire</b> en déterminant <b>la place des faits</b> et en indiquant <b>la signification qu'ils doivent avoir</b> dans l'édifice scientifique. » (1867, p. 221).                     |
| « Ni la <b>main</b> nue ni l' <b>entendement</b> laissé à lui-même n'ont beaucoup de force » (I, 2).   | « L'intérêt de la vérité demanderait que ceux qui <b>réfléchissent</b> daignassent enfin s'associer à ceux qui <b>se remuent</b> » (§1).  | « Il serait impossible de séparer ces deux choses : la <b>tête</b> et la <b>main</b> . Une main habile sans la tête <b>qui la dirige</b> est un instrument aveugle ; la tête sans la main qui réalise reste impuissante. » (1865, p. 27).  |
| « D'une alliance plus étroite et plus respectée entre ces deux facultés, <b>expérimentale et rationnelle</b> (alliance qui reste à former), il faut bien espérer. » (I, 95)<br><br>« Nous estimons avoir raffermi à jamais <b>les liens d'un mariage</b> vrai et légitime entre la faculté <b>empirique</b> et la faculté <b>rationnelle</b> , dont les multiples divorces et répudiations, aussi pénibles que funestes, ont semé le trouble dans la famille humaine. » (1620, p. 72).<br><br>« L'ordre véritable de l'expérience est d'allumer d'abord un <b>flambeau</b> puis, à la lumière de celui-ci, de montrer la route en commençant par une expérience ordonnée et classée » (I, 82). | « Nous avons distingué deux sortes de philosophies, <b>l'expérimentale et la rationnelle</b> . L'une a les yeux bandés, marche toujours en tâtonnant, saisit tout ce qui lui tombe sous la main et rencontre à la fin des choses précieuses. L'autre recueille ces matières précieuses, et tâche d'en former un <b>flambeau</b> (...). La philosophie <b>expérimentale</b> , qui ne se propose rien, est toujours contente de ce qui lui vient ; la philosophie <b>rationnelle</b> est toujours instruite, lors même que ce qu'elle s'est proposé ne lui vient pas. » (1753, §23-25). | « La science ne s'édifie solidement que par l'association bien équilibrée de <b>l'empirisme</b> et du <b>rationalisme</b> . » ( <i>Principes</i> , p. 56).<br>« la science ne peut être fondée ni par <b>l'empirisme</b> seul, ni par le <b>rationalisme</b> seul. Elle ne peut se constituer que par leur <b>association</b> . » ( <i>Principes</i> , p. 58).<br><br>« en me servant des théories comme de <b>flambeaux</b> destinés à éclairer la route et devant être remplacés à mesure qu'ils étaient brûlés. » ( <i>Principes</i> , p. 221). |

|   |  |   |
|---|--|---|
| <p>« Il ne faut pas cependant permettre que l'entendement <b>saute et vole</b> des particuliers jusqu'aux axiomes éloignés (...), ce n'est <b>pas de plumes</b> qu'il faut pourvoir l'entendement des hommes, mais plutôt <b>de plomb</b> et de lest pour lui interdire tout saut et tout vol. » (I, 104).</p>  | <p>« une chaîne d'expériences dispersées d'espace en espace entre des raisonnements, comme des <b>poïds</b> sur la longueur d'un fil (...). Sans ces <b>poïds</b>, le fil deviendrait le jouet de la moindre agitation qui se ferait dans l'air. » (1753, §7).</p>   | <p>« Tout le secret de la méthode expérimentale consiste à ne pas laisser l'idée <b>s'envoler</b>, s'égarer, mais à toujours <b>la ramener</b> aux faits en lui <b>coupant incessamment les ailes</b> à l'aide des ciseaux de l'expérience. » (<i>Principes</i>, p. 115).</p>   |
| <p>[La vraie voie] « <b>dégage les axiomes à partir des sens et du particulier</b> » (I, 19).</p> <p>« dans l'histoire naturelle on recueillera et amassera une foule d'expériences (...) qui prêtent à la seule <b>invention des causes et des axiomes</b> » (I, 99).</p> <p>« Les directives pour l'interprétation se répartissent en deux genres : le premier qui traite de l'extraction et du <b>dégagement des axiomes à partir de l'expérience</b> ; le second de la <b>déduction</b> et de la <b>dérivation de nouvelles expériences</b> à partir des axiomes. » (II, 10).</p> <p>« Mais en établissant les axiomes par cette induction, il faut également examiner et <b>vérifier</b> si l'axiome établi est seulement adapté et taillé à la mesure des particuliers dont il est tiré, ou s'il est plus large et plus étendu. Et, s'il est plus large et plus étendu, il nous faut <b>voir s'il confirme</b> cette largeur et cette extension par la désignation de nouveaux particuliers qui lui <b>servent de caution</b> » (I, 106).</p> | <p>« l'<b>observation</b> recueille les faits, la <b>réflexion</b> les combine, l'<b>expérience</b> vérifie les résultats de la combinaison » (1753, §15).</p> <p>« il y a trois choses à distinguer (...) : le phénomène à expliquer [<b>problème</b>], les suppositions du géomètre [<b>hypothèses</b>] et le calcul qui résulte des suppositions [<b>déductions</b>]. » « il faudrait qu'il pût comparer les suppositions mêmes avec les phénomènes [<b>expériences</b>] », ce qui conduit alors, « par la contrariété qui se trouve entre le <b>résultat</b> et le phénomène », à « exclure les hypothèses fausses [<b>conclusions</b>] ». (1749, <i>Lettre sur les aveugles</i>).</p> | <p>« <b>1°</b> Il <b>constate</b> un fait ; <b>2°</b> à propos de ce fait, une <b>idée</b> naît dans son esprit ; <b>3°</b> en vue de cette idée, il raisonne, il institue une <b>expérience</b>, en imagine et en réalise les conditions matérielles » (1865, p. 54).</p> <p>« <b>les diverses parties du raisonnement expérimental</b> (...) recueillir et rassembler des <b>observations</b> ; (...) émettre des <b>hypothèses</b> (...), faire naître l'<b>expérience</b> (...), systématiser les <b>résultats</b> (...). Son esprit reviendra pour <b>raisonner, comparer et juger si l'hypothèse expérimentale est vérifiée ou infirmée</b> » (1865).</p> |
| <p>« L'entendement humain, une fois qu'il s'est plu à certaines opinions (...) entraîne tout le reste à les appuyer et à les <b>confirmer</b> ; si fortes et si nombreuses que soient <b>les instances contraires</b>, il ne les prend pas en compte, les méprise, ou les écarte et les rejette » (I, 46).</p>  | <p>« Il faut <b>laisser l'expérience à sa liberté</b> ; c'est la tenir captive que de n'en <b>montrer que le côté qui prouve</b> et que d'en voiler <b>le côté qui contredit</b>. » (1753, §46).</p>   | <p>« ces hommes n'ont pas <b>l'esprit libre</b> (...). Si l'expérience ne répond pas du tout à leur attente, ils la considèrent comme nulle ou lui trouvent une cause d'erreur quelconque ; si l'expérience répond quelque chose d'analogue à leur désir, ils en <b>forcent le côté qui leur est favorable</b> et atténuent ou suppriment le reste. » (<i>Principes</i>, p. 220-221).</p>   |

Il est significatif que le texte de Claude Bernard qui évoque “l'abeille” de Bacon et de Diderot en décrivant la construction de la science à partir de ses matériaux (1867, p. 221)<sup>249</sup>, et qui appelle à réfléchir sur *la place des faits et la signification qu'ils doivent avoir dans l'édifice scientifique*, se trouve dans un texte destiné au ministre de l'Instruction publique (Victor Duruy) qui a demandé une série de rapports pour l'Exposition Universelle de 1867 (exposition dont on verra l'importance pour l'enseignement des sciences). Ce texte est une note relative au passage suivant :

« **L'empirisme** peut servir à **accumuler** les faits, mais il **ne saurait jamais édifier la science**. L'expérimentateur **qui ne sait point ce qu'il cherche ne comprend pas ce qu'il trouve**. » (1867, p. 131).

<sup>249</sup> *Rapport sur les progrès et la marche de la physiologie générale en France*, Imprimerie impériale, 1867.

On voit quelle signification peuvent avoir ces indications pour l'enseignement, la place et le rôle assignés aux faits étant primordiales dans les démarches. L'abeille récolte son pollen, mais fait ensuite son miel *en fonction de l'idée* qui a présidé à sa récolte, sans accumuler en vain comme une fourmi, ni suivre une recette que lui tendrait l'apiculteur.

Si Claude Bernard résume les étapes de la progression dans un schéma simple qui débute par "1° *Il constate un fait*", les faits ne sont pourtant pas, dans son esprit, dans une position *originelle* d'où la connaissance n'aurait qu'à être extraite de manière empirique :

« Il est extrêmement difficile de rester dans l'empirisme pur, c'est-à-dire de faire des observations ou expériences brutes **sans y mêler aucune hypothèse ni idée préconçue** sur les faits. » (*Principes*, p. 56).

Si les faits peuvent servir de *point de départ*, ils ne s'y trouvent jamais seuls, mais en compagnie des théories ou des idées antérieures :

« Toutes les **théories** qui servent de **point de départ** au physicien, au chimiste, et à plus forte raison au physiologiste, ne sont vraies que jusqu'à ce qu'on découvre qu'il y a des faits qu'elles ne renferment pas ou qui les contredisent. Lorsque ces faits contradictoires se montreront bien solidement établis, loin de se roidir, comme le scolastique ou le systématique, contre l'expérience, pour sauvegarder **son point de départ**, l'expérimentateur s'empressera, au contraire, de modifier sa **théorie**, parce qu'il sait que c'est la seule manière d'avancer et de faire des progrès dans les sciences. L'expérimentateur doute donc toujours, même de **son point de départ** » (1865, p. 84).

« L'expérimentateur doit douter de son sentiment, c'est-à-dire de l'idée *a priori* ou de la théorie qui lui servent de **point de départ**. » (1865, p. 88).

Il y a, dit-il, "deux cas principaux", qu'il illustre d'exemples :

« 1° Une recherche expérimentale a pour point de départ une **observation**.

2° Une recherche expérimentale a pour point de départ une **hypothèse** ou une théorie. » (1865, p. 215).

Or, les exemples du premier cas présentent toujours une observation *qui s'oppose à une idée*, qui la dérange ou la heurte. Le fait n'est pas à l'origine d'une recherche parce qu'il nous *dit* simplement quelque chose, mais parce qu'il *dit contre* quelque chose, qu'il *contredit*, qu'il est un objet qui *objecte*. Ainsi rejoint-on le "mot d'ordre bachelardien : **de la polémique avant toute chose !**"<sup>250</sup>

L'urine claire de lapins qu'on lui apporte le frappe parce que les lapins ont ordinairement l'urine trouble (1865, p. 216), ou le sang de la veine rénale est rouge, tandis que le sang des veines voisines est noir comme du sang veineux ordinaire :

« Cette **particularité imprévue me frappa** et je fis ainsi *l'observation* d'un fait nouveau » (p. 220).

L'*idée* comme point de départ pour s'extraire de l'obscurité d'un problème est affirmée dans ses *Principes* :

« (...) quand l'homme aborde **un sujet obscur** dans lequel tout est obscur pour lui ou dans lequel il n'a pour se guider **que la lueur trompeuse de quelques notions incertaines**, alors l'homme n'a plus de critérium ; il va alors réellement de l'inconnu à l'inconnu ; **il faut alors qu'il fasse une supposition** et qu'il suppose connu ce qui ne l'est pas pour avoir un **point de départ** ; il raisonne toujours logiquement, mais **avec doute**, avec interrogation, et **il appelle l'expérience à son secours**. » (*Principes*, p. 209).

Comme l'a analysé l'historien des sciences Mirko Grmek (1991, p. 60), chez Claude Bernard,

---

<sup>250</sup> Cité par Canguilhem (1968, p. 207).

« le **point de départ** d'une expérimentation qui promet d'aboutir à une découverte scientifique n'est **pas n'importe quel fait fourni par l'observation**. Il faut que ce soit "un fait **imprévu**", c'est-à-dire "un fait qui **ne rentre pas** dans les **idées admises**". »

Claude Bernard distingue lui-même trois périodes dans la vie d'un chercheur<sup>251</sup>, tout en précisant qu'il a perdu 4 ou 5 ans à se débattre dans les deux premières :

- Une première période de simple application des connaissances théoriques et des préceptes pratiques des maîtres ;
  - Une deuxième période où on conçoit les expériences à partir des théories régnantes afin d'accumuler les faits qui les confortent ;
  - Une troisième période à laquelle arrivent « ceux qui font **surtout attention aux faits contraires** (et je suis de ce nombre) », et qui « tiennent peu à la théorie vacillante par sa nature ».
- À chacune de ces périodes, on le voit, le point de départ est *théorique*.

On voit aussi que Claude Bernard tient à se situer dans le débat épistémologique : il dénonce autant l'excès de confiance dans la théorie, "vacillante", que dans les faits. Il titre un paragraphe :

« La **méthode expérimentale**. Son rôle pour **faire éviter les écueils du rationalisme et de l'empirisme**. »  
(*Principes*, p. 78).

Mirko Grmek (1997b, p. 14) résume :

« sa force principale réside dans le fait que, **poète dans l'invention des hypothèses**, il conserve une **lucidité implacable dans leur critique**. »

Pasteur, par différence, est beaucoup moins poète, et n'entreprenait, selon son préparateur, ses expériences qu'après "une longue rumination" :

« Si le résultat était négatif, il abandonnait **son idée**. Elle n'existait plus pour lui, il était inutile de chercher à l'y ramener, il ne s'en souvenait plus. Si, au contraire, le résultat était positif, il s'acharnait et dès le commencement on sentait qu'il était dans la vérité. "C'est **dans le sens**", disait-il. Puis il multipliait les expériences. »<sup>252</sup>

Le travail sur l'hypothèse est plus fouillé, mais celle-ci n'en précède pas moins les expériences.

#### 1.2.8.4. Le conflit Berthelot-Pasteur (1879)

Après la mort de Claude Bernard (1878), une controverse va éclater entre Louis Pasteur (1822-1895) et Marcelin Berthelot (1827-1907), ce dernier ayant fait paraître un manuscrit posthume des ultimes travaux du grand physiologiste où il s'oppose aux vues de Pasteur, estimant que de l'alcool peut se former en l'absence de cellules, et donc en dehors de la vie. Pasteur, qui s'étrangle de cette publication inattendue, va réagir vivement, et son match contre Berthelot va se dérouler dans les *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* en 1878 et 1879<sup>253</sup>. Le débat s'envenime vite, Pasteur reprochant à Bernard et Berthelot leurs idées préconçues, et Berthelot jugeant Pasteur à côté de la « **vraie méthode** », lui reprochant :

« (...) cette confusion perpétuelle et presque inconsciente entre ce qui est prouvé et ce qui ne l'est pas (...). La **conjecture** et l'**hypothèse** sont légitimes, sans aucun doute, dans la Science, mais à la condition de ne pas les imposer au lecteur »,

<sup>251</sup> Note manuscrite du Collège de France citée dans Grmek, M. D. (1997). *Le legs de Claude Bernard*, Fayard, p. 13.

<sup>252</sup> Loir, A. (1938). *À l'ombre de Pasteur*, éd. Le mouvement sanitaire, p. 49.

<sup>253</sup> *Œuvres de Pasteur*, tome 2, Masson, 1922, p. 549-615.

Pasteur est piqué au vif. On lui fait une leçon de méthode ! Ah je confonds toujours, dit-il, ce qui est prouvé et ce qui ne l'est pas, et M. Berthelot jamais :

« voyons si cette double appréciation, ramenée aux dimensions de la vérité, ne se transformerait pas dans celle de cette vieille et toujours jeune histoire de la paille et de la poutre ».

Le ton est donné. Pasteur reprend les phrases de Berthelot et les commente :

« *“La conjecture et l’hypothèse sont légitimes dans la Science...”* : je suis complètement **de cet avis**, mais je préférerais qu’il eût dit *l’induction* au lieu de *l’hypothèse*. (...) La signification de ces deux expressions n’est pas du tout la même. L’hypothèse est toujours plus ou moins loin des faits, l’induction les touche et leur est enchaînée. (...) J’ai la prétention de faire des **inductions**, tandis que mon confrère fait des **hypothèses**. »

Serait-ce donc que Pasteur, à l’instar de Newton, prétend ne pas faire d’hypothèse ? Il poursuit :

« **Des hypothèses comme celles-ci, ah !** Qu’elles donnent peu de peine, qu’elles coûtent peu d’efforts ! »

Et c’est ici, dans une attitude sublime où son courroux ne vainc pas son discernement, que Pasteur nous livre de précieuses indications sur son cheminement de recherche : au moment même où l’on s’attend à le voir porter le coup de grâce à ces futiles hypothèses qui paraissent si indignes de lui, et dont il laisse à son adversaire le secours illusoire pour ne s’en remettre qu’à la saine induction, il ne peut s’empêcher de retenir son bras et, au lieu de les sacrifier, il avoue en faire, comme tous les autres, un usage permanent :

« **Tous** tant que nous sommes, chercheurs du vrai, et qui ne pouvons nous livrer à cette tâche ardue **que par les idées** d’expérimentation **que nous suggère** notre **imagination**, de telles hypothèses, pardonnez-moi la vulgarité de l’expression, nous les brassons **à la pelle** dans les laboratoires, elles **remplissent nos registres** de projets d’expériences, elles nous **invitent** à la recherche »

L’honnêteté surpassant l’emportement, la condamnation des hypothèses, qui couvait, s’est muée en reconnaissance de leur rôle. Tout juste ajoute-t-il : « et voilà tout. »

Mais il ne peut s’en tenir à reprocher à son confrère la facilité de faire ce que lui-même produit “à la pelle”, et dont il avoue même ne pas pouvoir se passer. Il faut qu’à la fin de l’envoi, il touche !

« Entre M. Berthelot et moi il y a cette différence, qu’à **cette nature d’hypothèses jamais je ne fais voir le jour**, si ce n’est lorsque j’ai **reconnu qu’elles sont vraies** et qu’elles permettent d’aller en avant. M. Berthelot, lui, les publie. »

Ainsi, la différence ne tient pas à la procédure de ce qu’on nommera plus tard le contexte de découverte, mais au contexte de justification : les hypothèses, c’est, en quelque sorte, de la cuisine, celle des sauces que l’on rate et des recettes improbables qui passent à la trappe, sauf la “bonne”, celle qu’on élit et qui, une fois reconnue vraie, est servie en salle sur le solide plateau à cloche de l’induction. Marcellin, lui, nous offre une tambouille où rien ne se tient, et ose concourir avec ça.

Il n’apporte *que* des hypothèses tandis que lui produit les observations et les expériences, que certes des hypothèses ont invité à accomplir mais dont la somme des résultats conduit, par induction, à une conclusion autrement fondée. Pasteur en fournit un exemple :

« Oui, j’ai mis en rapport, dans une induction très légitime, bien plus, **obligée**, le caractère de vie sans air et le caractère ferment, et je crois en avoir donné des **preuves** : toutes les fois qu’il y a vie sans air, il y a fermentation proprement dite, toutes les fois qu’il y a fermentation proprement dite, on peut constater l’existence de la vie sans air ».

Les termes utilisés (obligée, preuves) montrent que, pour Pasteur, ce type d’induction a valeur de démonstration.

Le débat indirect entre Pasteur et Cl. Bernard est un peu de même nature que celui qui, dans les pages de l'*Encyclopédie*, opposait d'Alembert à Diderot. Dans les deux cas, le premier nommé considère, certes, les hypothèses comme utiles, mais comme "sages hardiesses" selon le mot de d'Alembert, d'idées suggestives d'expériences pour Pasteur, tandis que pour Diderot on peut "risquer des conjectures chimériques" et que Cl. Bernard ne craint pas l'envol "sur les ailes d'une hypothèse" tant que les ciseaux de l'expérience veillent.

Et Pasteur attribue à Claude Bernard, à tort semble-t-il, une *idée fixe* là où il n'y a, pour reprendre les termes de Canguilhem, qu'une *idée directrice*. Claude Bernard *pense* que la fermentation peut se faire sans les cellules que sont les levures, et indique dans ses manuscrits quelle expérience faire :

« prouver que la formation de l'alcool est indépendante de la présence de toute cellule. C'est là derrière que Pasteur se retranche pour dire que la fermentation est la vie sans air ».

Pasteur y voit l'affirmation d'une certitude, estimant –peut-être en partie parce qu'il est mis en cause :

« Comme ces passages (...) font bien ressortir la **tyrannie de ses idées préconçues** ! Il ne cherche pas ceci ou cela, **sans parti pris, ce qui est, ce qui arrive en un mot**, c'est-à-dire **la vérité** : il veut trouver ceci ou cela **parce qu'il a imaginé** que ceci ou cela doit être. »

Et de citer Bossuet :

« "Le plus grand dérèglement de l'esprit, c'est de croire les choses parce qu'on veut qu'elles soient", admirable principe de philosophie pratique **qu'on devrait graver au frontispice de tous les laboratoires**. Ces façons de VOULOIR que les choses soient me rappellent également la **condamnation superbe** qui en a été faite par Buffon, lorsqu'à l'âge de vingt-huit ans, venant de traduire la *Statique des végétaux* de Hales, il méditait les travaux des grands observateurs du XVII<sup>e</sup> siècle : "(...) il ne s'agit pas, pour être physicien, de savoir ce qui arriverait dans telle ou telle **hypothèse** (...)".

En octobre 1877, Claude Bernard avait, en quelque sorte, **fait table rase de ces règles immuables de la vraie méthode expérimentale**, qu'il avait cependant, lui aussi, à tant de reprises, exposées avec éloquence et appliquées avec rigueur. » (Tome 2, p. 549-550).

On voit qu'en 1879, la hantise des idées fixes est telle qu'un Pasteur y assimile aisément une idée directrice, et ce, au point de prêter à Claude Bernard la dénégation de tous ses principes, alors qu'il a toujours déclaré vouloir "suivre une idée", mais l'abandonner devant l'expérience, et alors que Pasteur reconnaît lui-même user d'hypothèses. Car l'appel que fait Pasteur à Buffon, et la "condamnation superbe" sous laquelle il se range, c'est la condamnation faite par Newton, sous le portrait duquel écrivait Buffon dans son bureau !

Pasteur exagère, mais il est très remonté contre le coup que lui a porté Berthelot, la publication posthume du manuscrit de Claude Bernard qui conteste ses résultats étant pour lui un "véritable camouflet", et André Loir raconte cette réaction de son oncle :

« Cet homme, cet homme, il est capable de tout ! Il est capable, cet homme !... Il doit tromper sa femme ! »<sup>254</sup>

Dans un moment d'emportement, Pasteur peut aussi faire des hypothèses peu fondées !...

Pasteur cependant, considérant l'hypothèse de Claude Bernard, ne se contente pas de la tenir pour vaine, mais monte aussitôt une expérience pour la réfuter.

Et dès l'année suivante, sur un sujet moins polémique, les idées préconçues, soit exactement ce qu'il reprochait à Claude Bernard, sont redevenues indispensables :

---

<sup>254</sup> Cité par Patrice Debré in *Louis Pasteur*, Flammarion, 1994, p. 378.

« M. Blanchard ne voit qu'illusions dans les idées qui viennent d'être émises. Je prends la liberté de lui rappeler que **les illusions** de l'expérimentateur sont une grande partie de sa force ; ce sont **les idées préconçues** qui lui **servent de guide**. De celles-ci beaucoup, le long du chemin qu'il parcourt, **s'évanouissent** ; mais, un beau jour, il reconnaît et il prouve que certaines d'entre elles sont adéquates à la vérité. » (1880 *in Œuvres*, Masson, tome VII, p. 35).

Elles le sont *redevvenues* parce qu'à plusieurs reprises, lorsqu'on ne remet pas ses propres vues en cause, Pasteur avait déjà fait l'éloge des idées préconçues :

« Elles sont très bonnes, les idées préconçues... à condition toutefois qu'on ne les transforme pas en idées fixes. » (1872, tome VII, p.33).

« **On ne fait rien**, il est vrai, **sans idées préconçues** ; il faut avoir seulement la sagesse de ne croire à leurs déductions qu'**autant que l'expérience les confirme**. Les idées préconçues, **soumises au contrôle** sévère de l'expérimentation, sont **la flamme vivifiante** des sciences d'observation ; les idées fixes en sont le danger » (1875, tome VI, p. 93-94).

« Les idées préconçues sont **le phare** qui éclaire de l'expérimentateur et qui lui sert de **guide** pour interroger la nature. » (1876, tome VI, p. 101-102).

Lorsque Pasteur ne se sent pas sur la défensive, il dit travailler avec de telles idées, flamme ou phare (flambeau pour Claude Bernard) qui le guident et sont soumises **au contrôle** de l'expérimentation : il sort de son refuge auprès de Buffon sous la protection de Newton et en vient exactement à la position de Claude Bernard. Peut-être songe-t-il alors à ce que lui écrivit J.-B. Biot en 1849 :

« Il est impossible, quand on s'occupe d'un sujet nouveau, qu'il **ne s'offre pas à l'esprit beaucoup de conjectures**, dont la plupart se trouvent plus tard être fausses, et quelques-unes vraies. Il faut les accueillir (...) comme autant de **suppositions à examiner** »<sup>255</sup>.

Pasteur tient d'ailleurs de son maître Biot cette célèbre réflexion, que commente François Jacob (1970, p. 24) : « le hasard ne favorise que **les esprits préparés** »<sup>256</sup> ; la rencontre d'un fait nouveau n'a de sens que pour qui possède une idée préconçue adéquate pour en faire quelque chose ; « la théorie était déjà là », dit Jacob.

Biot rendait ainsi compte, en effet, du premier travail de Pasteur :

« une occasion qu'il n'avait pas prévue lui en a fourni le sujet et les premiers matériaux. De sorte que l'on pourrait dire qu'ils lui ont été donnés par **le hasard**, si l'on devait appeler hasard la poursuite d'un fait récemment annoncé comme un résultat isolé dans la science, dont **un esprit préparé** saisit l'importance en le rapportant à des études antérieures »<sup>257</sup>.

Pour Mirko Grmek (1997b, p. 345-346), une différence méthodologique tient au fait que Pasteur réfléchit beaucoup avant d'expérimenter, là où Claude Bernard part à l'aventure avec des hypothèses souvent fausses, ce en quoi, dit Patrice Pinet (2004, p. 81),

« les méthodes de Claude Bernard et de Pasteur ne semblent donc pas différentes dans l'esprit, procédant par **hypothèses** ou **idées préconçues** qu'il s'agit de **modifier** selon les **résultats des expériences** ».

Pasteur termine sa réponse à Berthelot en rappelant : « l'Académie a vu le plus illustre de ses membres juger favorablement mes travaux », un homme, dit-il, qui mesure ses paroles et qui n'est pas habitué à l'indulgence dans l'éloge : Chevreul –justement celui qui insiste tant non sur l'absence d'hypothèses, bien au contraire, mais sur l'esprit de contrôle.

<sup>255</sup> *Correspondance de Pasteur* réunie et annotée par Pasteur-Vallery-Radot, Flammarion, 1940-1951, t. 1, p. 196.

<sup>256</sup> Conférence de décembre 1854 à Lille, citation *in* Vallery-Radot, R. (1900). *La vie de Pasteur*, Hachette, p. 88.

<sup>257</sup> Biot, J.-B. (1849). « Rapport sur un Mémoire présenté à l'Académie par M. L. Pasteur, relatif aux acides aspartique et malique. » *Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de France*, t. 23, p. 354.

Pour P. Pinet (2004, p. 78),

« En 1882, Pasteur constate que la science fait **amplement usage de l'hypothèse** ou de **l'idée préconçue** ».

Une tendance qui ne va pas s'estomper au siècle suivant.

## 1.2.9. Cheminements au XX<sup>e</sup> siècle

### 1.2.9.1. Physique nouvelle et esprit scientifique

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, la physique va faire un bond considérable, à tel point que Bachelard déclare :

« nous fixerons très exactement l'ère du *nouvel esprit scientifique* en 1905, au moment où la Relativité einsteinienne vient déformer les concepts primordiaux que l'on croyait à jamais immobiles. À partir de cette date, la raison multiplie ses objections, (...) elle essaie **les abstractions les plus audacieuses**. » (1938, p. 7).

1905, soit trois siècles exactement après l'entrée en scène de Bacon (1605), et deux siècles exactement après l'interdit de Newton frappant les abstractions audacieuses (1706).

Bachelard se retourne sur le débat épistémologique :

« tout homme, dans son effort de culture scientifique, s'appuie non pas sur une, mais bien sur deux métaphysiques (...) contradictoires (...) tranquillement associées dans un esprit scientifique moderne, sous les étiquettes classiques de **rationalisme** et de **réalisme**. » (1934, p. 5).

Le spéculateur avance à la lumière du raisonnement et l'empiriste se veut éclairé par l'expérience, mais « le savant ne peut plus être réaliste ou rationaliste » à la manière des philosophes antérieurs tenant ces positions extrêmes,

« il faut donc que l'épistémologie rende compte de la **synthèse** plus ou moins mobile de la **raison** et de l'**expérience** » (1934, p. 20).

Bachelard dit vouloir montrer la “nouveauité essentielle” de cette dialectique de la pensée scientifique, de cette “conciliation” (1934, p. 18-19). On peut tout de même dire qu'elle n'est que *relativement* nouvelle lorsque l'on songe aux cheminements de Galilée, de Harvey, de Pascal ou encore de Hooke, sans parler des vues de Whewell ni revenir à Diderot, qui voulait que ceux qui réfléchissent daignent s'associer à ceux qui se remuent, et à son abeille elle-même descendante de celle de Bacon.

Le professeur de physique et philosophe Bachelard énonce :

« Quel que soit le point de départ de l'activité scientifique, cette activité ne peut pleinement convaincre qu'en quittant son domaine de base : *si elle expérimente, il faut raisonner ; si elle raisonne, il faut expérimenter* » (1934, p. 7).

Ce qui rejoint la pensée du psychologue et éducateur John Dewey, pour qui la raison requiert une expérience pour être confirmée, tandis que l'expérience ne peut qu'être conduite par la raison (1909a, p. 78).

Bachelard décrit ce qu'on pourrait nommer une *philosophie de la rectification permanente*, et Piaget s'inscrit également dans une logique de rectification, décrivant une “troisième direction”, celle du *continuel dépassement des élaborations successives*, entre « associationnisme **empiriste** » et « exercice d'une “**raison**” déjà préformée » (1971, p. 16).

Bachelard veut réhabiliter la pensée abstraite, victime de “l'accusation banale” qu'elle subit face à « l'expérience **soi-disant concrète et réelle, soi-disant naturelle et immédiate** » (1938, p. 6), et Bachelard ne pouvant ignorer que *soi-disant* signifie *disant de soi* et qu'il eût fallu ici employer *prétendument*, c'est assez illustrer la prétention classique de s'avancer derrière une expérience qui *parlerait* d'elle-même.

Contre l'inductivisme, Bachelard précise :

« le *sens* du vecteur épistémologique nous paraît bien net. Il va sûrement du rationnel au réel et non point, à l'inverse, de la réalité au général comme le professaient tous les philosophes depuis Aristote jusqu'à Bacon. »

C'est dire que l'idée précède l'action, qu'elle la *prémédite*, et Bachelard parle en ce sens de l'expérience comme “raison expérimentée” (1934, p. 8-9) :

« Une expérience ne peut être une expérience bien faite que si elle est complète, ce qui n'arrive que pour l'expérience **précédée d'un projet** (...). L'observation scientifique est toujours une **observation polémique** ; elle **confirme ou infirme** une thèse **antérieure** » (1934, p. 13 et 15).

« Comme si l'observation première pouvait livrer autre chose qu'une *occasion* de recherche ! » (1938, p. 42).

Acteurs scientifiques de premier plan dans ce renouveau tel que le voit Bachelard, des chercheurs tels Henri Poincaré, Pierre et Marie Curie ou Albert Einstein se sont prononcés sur leurs démarches.

Poincaré publie en 1902 *La science et l'hypothèse*, avec la célèbre image du tas de pierre :

« On fait la science avec des faits comme une maison avec des pierres ; mais une **accumulation de faits** n'est pas plus une science qu'un **tas de pierres** n'est une maison. (...)

On dit souvent qu'il faut expérimenter sans **idée préconçue**. Cela n'est **pas possible** ; non seulement **ce serait rendre toute expérience stérile**, mais **on le voudrait qu'on ne le pourrait pas**. Chacun porte en soi sa **conception** du monde dont il ne peut se défaire si aisément. (...) »

« **L'hypothèse** (...) doit toujours être, le plus tôt possible et le plus souvent possible, **soumise à la vérification**. Il va sans dire que, si elle ne supporte pas cette épreuve, on doit l'abandonner sans arrière-pensée (...). L'hypothèse ainsi **renversée** a-t-elle donc été **stérile** ? **Loin de là**, ou peut dire qu'elle a rendu plus de services qu'une hypothèse vraie ; non seulement elle a été l'occasion de l'expérience décisive, mais on aurait fait cette expérience par hasard, sans avoir fait l'hypothèse, **qu'on n'en aurait rien tiré** ; on n'y aurait rien vu d'extraordinaire ; on n'aurait catalogué qu'un fait de plus sans en déduire la moindre conséquence. » (1902, ch. IX).

Pierre Curie, dans sa conférence Nobel de 1905, semble illustrer ce propos :

« Dès le début de nos recherches, nous avons fait remarquer, Madame Curie et moi, que l'on peut faire, pour expliquer les phénomènes, **deux hypothèses** distinctes (...) :

1. Les corps radioactifs empruntent à une radiation extérieure l'énergie qu'ils dégagent.
2. **Dans la deuxième hypothèse**, on peut supposer que les corps radioactifs puisent en eux-mêmes l'énergie qu'ils dégagent. »<sup>258</sup>

Madame Curie avait fait, en 1900, quatre hypothèses sur “l'origine des rayons de Becquerel” : l'énergie pourrait provenir d'une phosphorescence de longue durée, de la chaleur ambiante, de rayons excitateurs venus de l'espace, ou encore de la matière elle-même. Marie est, à l'inverse de Pierre, en faveur de cette dernière hypothèse, et en déduit cette conséquence :

« S'il en est ainsi, le radium doit perdre constamment de son poids »<sup>259</sup>.

<sup>258</sup> In *Conférences Nobel, 1903-1911*, Alcan, 1912.

<sup>259</sup> Poirier, J.-P. (2006). *Marie Curie et les conquérants de l'atome*, Pygmalion, p. 73-74.

Einstein prend position, en 1919, dans le débat épistémologique :

« L'idée la plus simple que l'on puisse se faire de la naissance d'une science expérimentale est celle qui repose sur la **méthode inductive**. Des faits isolés sont choisis et regroupés de manière à faire ressortir les régularités qui les relient. Et regroupant ensuite ces régularités, on en fait apparaître de nouvelles plus générales, jusqu'à obtenir un système plus ou moins unitaire capable de rendre compte de l'ensemble des faits donnés (...). Un regard même rapide sur ce qui s'est effectivement produit nous enseigne que les grands progrès de connaissance scientifique n'ont été que **pour une faible part** réalisés de cette manière. Si le chercheur, en effet abordait les choses **sans la moindre idée préconçue** comment pourrait-il dans l'incroyable complexité de tout ce qui fournit l'expérience isoler des faits bruts assez simples pour qu'apparaisse la loi à laquelle ils obéissent? (...)

Les progrès véritablement importants réalisés dans notre connaissance de la nature sont nés d'une démarche **presque diamétralement opposée à la démarche inductive**. Une compréhension intuitive de ce qui est essentiel dans un ensemble complexe de faits amène le chercheur à poser une ou plusieurs lois fondamentales à **titre d'hypothèses**. De cette loi fondamentale (système d'axiomes) il **tire ensuite les conséquences** par une démarche purement logico-**déductive** et de façon aussi complète que possible ». (1919, p. 94-95).

### 1.2.9.2. Conjectures et réfutations : Karl Popper et l'hypothético-déductivisme

Ce sont justement les travaux d'Einstein qui poussent Karl Popper à réfléchir sur *La logique de la découverte scientifique* (1934), impressionné par le fait que le physicien considérait sa théorie comme insoutenable si elle ne résistait pas à l'épreuve de certains tests.

Popper s'oppose au "positivisme logique" que représente le *Cercle de Vienne*, pour lequel tout énoncé qui ne s'appuie pas sur des observations et n'est pas "dérivé de l'expérience" est "dépourvu de sens", prônant une méthode inductive dans laquelle la répétition des observations permet de formuler des énoncés généraux, eux-mêmes "vérifiés" par l'accumulation de nouvelles observations.

Pour Popper,

« Un savant, qu'il soit théoricien ou praticien, propose des énoncés ou des systèmes d'énoncés et les **teste** pas à pas. (...) il **bâtit des hypothèses** ou des systèmes théoriques et les **soumet à l'épreuve de l'expérience** par l'observation et l'expérimentation. » (1934, p. 23).

« La théorie que je vais développer, prévient-il, **s'oppose** directement à tous les travaux tentant d'utiliser les notions de la logique **inductive**. On pourrait la décrire comme la *méthode déductive de contrôle* ou comme la conception selon laquelle **une hypothèse** ne peut être que *soumise à des tests* empiriques et seulement après avoir été avancée. » (p. 26).

L'opposition porte sur les forces attribuées à l'esprit et à l'expérience : Kant avait critiqué la raison pure de Descartes ; Hegel et les Idéalistes allemands veulent, contre Kant, redonner ses lettres de noblesse à une métaphysique spéculative, et le font dans des textes qu'ils reconnaissent eux-mêmes comme obscurs. Et les néo-positivistes autrichiens sont les fourmis qui veulent faire tomber ces araignées de leurs toiles :

« Les représentants de la conception scientifique du Monde se veulent **rivés au sol** de la simple **expérience** humaine ; confiants, ils s'adonnent au travail qui consiste à **éliminer les scories métaphysiques et théologiques** accumulées depuis des millénaires » (1929)<sup>260</sup>.

Popper reconnaît la valeur du combat de ses concitoyens de Vienne contre le "verbiage dénué de sens" et "ce type d'écrits irresponsables", en particulier de Hegel (1963, p. 114), ce que Jacques Monod (1973) appelle les "plus obscures extravagances de la métaphysique allemande".

---

<sup>260</sup> *Manifeste du Cercle de Vienne et autres écrits*, Soulez, A. (dir.), PUF, 1985, p. 128.

Mais il estime qu'ils sont allés trop loin, jetant l'hypothèse avec l'eau du bain métaphysique sans laisser subsister ce qu'il y a de bénéfique dans la conjecture, comme par exemple celle de "l'atomisme spéculatif" :

« les positivistes désirent (...) la défaite finale et l'anéantissement de la métaphysique (...). L'erreur dont j'accuse les positivistes : **essayer d'abattre la métaphysique en l'appelant de tous les noms.** »

« Soucieux d'anéantir la métaphysique, les positivistes anéantissent **avec elle** la science naturelle. (...) La découverte scientifique est **impossible si l'on ne possède pas une foi** en des **idées purement spéculatives** et parfois tout à fait imprécises, une foi que rien ne garantit d'un point de vue scientifique et qui est, dans cette mesure, "métaphysique". » (1934, p. 32-35).

Popper admet qu'il « lève les barrières qui **séparent la science de la spéculation métaphysique** » (1934, p. 30), mais, s'il ne craint pas de le faire, c'est qu'elles n'étaient déjà pas imperméables : en 1919, à Vienne, il est frappé (à 17 ans) par le fait que le régime marxiste prétend détenir une vérité que les faits confirment toujours, tout comme Freud, tandis qu'Eddington s'embarque pour une petite île afin de soumettre la théorie de la relativité au test d'une observation astronomique qui peut la réfuter, avec une *prise de risque* (1963, p. 59-64).

L'important n'est pas, pour Popper, dans la *vérification*, mais dans la soumission de *conjectures* à des tentatives de *réfutation*, à l'aide de tests sévères. Elles y résisteront peut-être (l'idée sera alors *corroborée*, mais non *vérifiée*) ou non (idée "*falsifiée*" ou plutôt, en français, *réfutée*).

Une position proche de celle de Chevreul qui, estimant inévitables les interprétations anticipées, ces vues de l'esprit dont Lavoisier souhaitait se préserver, cherchait non à les interdire *a priori* mais à les éliminer *a posteriori*, par leur contrôle expérimental.

Cette progression par *conjectures et réfutations* dans le royaume des idées est comparée par Jacques Monod (1973), dans la préface de la traduction de Popper en français, avec l'évolution biologique qui procède, de manière comparable, par *mutation et sélection*.

L'expérience est établie non pas, essentiellement, pour être *la source* d'une idée, mais pour en être *l'épreuve*, ce qu'on peut résumer en disant que les faits font moins apparaître les idées que les idées comparaître les faits.

On retrouve la troisième période de la vie d'un chercheur décrite par Claude Bernard, celle de l'attention privilégiée aux faits contraires, et Grmek commente :

« On reconnaît facilement dans les deux premières périodes du schéma épistémologique bernardien ce que Thomas **Kuhn** appelle "la science normale", et dans la troisième période ce que Karl **Popper** considère comme la bonne méthode scientifique, à savoir la poursuite méthodologique de la "falsification" et non de la "vérification" des hypothèses de travail » (1997b, p. 13).

Popper dira d'ailleurs en 1975 dans une lettre à Grmek (1997b, p. 13) combien ses vues sont proches de celles de Claude Bernard :

« il est vraiment étonnant de voir à quel degré **mes vues** sur les méthodes en science **furent anticipées par Claude Bernard**. Cependant, je n'ai lu Claude Bernard que récemment : c'est mon ami Peter Medawar qui le premier attira mon attention sur Bernard, et il ne le fit qu'il y a quelques années. »

Popper insiste aussi sur le rôle des *problèmes* : "La science ne commence que s'il y a problème" (1963, p. 329), rejoignant en cela Bachelard pour qui "le sens du problème" est "le nerf du progrès" (1938, p. 14 et 29). John Dewey, sur le terrain pédagogique, les a devancés par l'importance qu'il attribue à ce qu'il nomme « the sense of a problem » (1909a, p. 207).

En épistémologie, Georges Canguilhem avait fait en 1942 une mise au point intitulée *Leçons sur la méthode* :

« L'épistémologie contemporaine ne connaît **ni les sciences inductives, ni les sciences déductives**. (...) Elle ne connaît **que des sciences hypothético-déductives**. En ce sens, il n'y a pas (...) de coupure entre la raison et l'expérience »

Il utilise cette formule marquante, qui reprend l'idée formulée par Dewey et Bachelard : « il faut **la raison pour faire une expérience** et il faut **l'expérience pour se faire une raison**. »

Avant de conclure : « Donc on admettra :

**Contre l'empirisme** : qu'il n'y a pas à proprement parler de méthode inductive. Ce qui est induction, c'est-à-dire invention d'hypothèses dans la science expérimentale, est le signe le plus net de l'insuffisance de la méthode à expliquer le progrès du savoir.

**Contre le positivisme** : qu'il n'y a pas (...) de fait qui ne soit pénétré de théorie ». <sup>261</sup>

De nombreux scientifiques prestigieux se reconnaissent dans la description hypothético-déductive, et l'épistémologie de Karl Popper reçoit leur soutien, ainsi Einstein qui lui dit dans une lettre en 1935 :

« Cher M. Popper,

(...) Je **n'aime vraiment pas la tendance "positiviste"** aujourd'hui à la mode qui consiste à **s'accrocher à ce qui est observable**. (...) Je pense (comme vous, d'ailleurs) qu'une théorie ne peut être le produit de résultats d'observations mais peut **seulement être celui d'une invention**. » (Popper, 1934, réédité en 1959, p. 469).

Ce qu'il confirme en 1936 :

« Il n'y a **pas de méthode inductive** qui puisse conduire aux concepts fondamentaux de la physique. Faute de comprendre ce fait, bien des chercheurs du XIXe siècle ont été victimes d'une erreur philosophique fondamentale. » (Einstein, 1936, p. 48).

Jacques Monod (1973) estime ainsi le livre de Popper qu'il préface :

« un des rares ouvrages d'épistémologie où **un homme de science puisse reconnaître, sinon parfois découvrir**, le mouvement même de sa pensée, l'histoire vraie, rarement écrite, du progrès auquel il a pu personnellement contribuer. La « Logique de la Découverte » est aussi l'une de ces rarissimes œuvres philosophiques qui puissent contribuer réellement à la **formation** d'un homme de science, à l'approfondissement, sinon même à l'efficacité de sa réflexion. (...) Le mouvement des sciences depuis les années vingt, si rapide qu'il ait été, **n'a pas réfuté**, bien au contraire, **les analyses de Popper**. Appliquées par exemple à la **biologie** contemporaine elles apparaissent aussi pénétrantes, aussi proches de la réalité théorico-empirique, qu'elles l'étaient à l'égard de la **physique** de 1920. »

Le soutien des biologistes renforce celui des physiciens, et Peter Medawar, immunologiste dont les travaux furent aussi couronnés par le prix Nobel, adhère également à ces vues :

« la première exposition raisonnée et complètement argumentée du **système hypothético-déductif** est sans nul doute celle de Karl Popper. »

Une large part, ajoute-t-il, en avait été proposée en 1840 par William Whewell (1967, p. 147).

Medawar (1967, p. 120 et 1972, p. 22) décrit les « les deux épisodes successifs et complémentaires de la pensée », qui interviennent dans toute avancée de la compréhension scientifique : la phase *créative* initiale conjecturale, qui précède la phase *critique* du raisonnement scientifique :

« **guesswork and checkwork**, proposal and disposal, *Conjecture and Refutation* ».

« Il y a interaction entre deux épisodes de pensée (...), entre ce qui **pourrait être vrai** et ce **qui l'est** en fait »,

---

<sup>261</sup> Canguilhem, G. (1942). *Leçons sur la méthode*, in Bourdieu, P., Passeron, J.-C. et Chamboredon, J.-C. (1968), *Le métier de sociologue : préalables épistémologiques*, Mouton de Gruyter, 2005, p. 267-272.

dit-il en nommant la première “l’invention d’un monde possible”, image que François Jacob reprend dans le titre même de son livre *Le jeu des possibles* (1981), où il se réfère explicitement à Medawar (p. 28).

Le rapport entre *ce qui pourrait être* et *ce qui est* constitue, pour François Jacob à la suite de Peter Medawar, le cœur même de l’accès à la connaissance :

« La démarche scientifique confronte sans relâche ce qui **pourrait être** et ce qui **est** » (1981, p. 29).

Dans son autobiographie (1987, p. 250), François Jacob revient sur son passé d’empiriste inductif défroqué et narre sa conversion en hypothético-déductiviste :

« **Contrairement** à ce que j’avais pu croire, la démarche scientifique ne consistait **pas simplement à observer**, à **accumuler** des données expérimentales et à **en tirer** une théorie. Elle commençait par **l’invention d’un monde possible**, ou d’un fragment de monde possible, pour **le confronter**, par l’expérimentation, au monde extérieur. Et c’était ce dialogue sans fin entre l’imagination et l’expérience qui permettait de se former une représentation toujours plus fine de ce qu’on appelle “la réalité”. »

Il cite en exemple les travaux des laboratoires de génétique :

« Ce qui nous avait permis d’analyser la multiplication du bactériophage, d’en comprendre les différentes étapes, c’était d’abord **le jeu des hypothèses et des expériences**, les constructions de **l’imagination** et les **déductions** qu’on pouvait **en tirer**. À partir d’une certaine représentation qu’on se formait du système, on élaborait une expérience qui **mettait à l’épreuve** l’un ou l’autre aspect de cette représentation. Suivant les résultats, on modifiait la représentation pour préparer une autre expérience. Et ainsi de suite. Voici comment fonctionnait la recherche en biologie. »

Plus près de nous, Richard Feynman, qui reçut le prix Nobel de physique en même temps que Jacob et Monod recevaient celui de médecine (1965) fit en 1964 des conférences que la BBC diffusa à la télévision. Il y explique :

« On commence par **deviner**. Puis on calcule les **conséquences** de notre **conjecture** (...). Puis on **compare** le résultat des calculs avec la nature, **grâce à l’expérience**, on compare directement avec l’observation, pour voir si ça marche. Si ça ne s’accorde pas avec l’expérience, c’est faux. Dans ce simple énoncé **repose la clé de la science**. La beauté de la conjecture n’y change rien - l’intelligence ou la personnalité de celui qui a deviné n’y change rien - si ça ne s’accorde pas avec l’expérience, c’est faux. Tout est là. » (1980, p. 185-186).

On prête à Feynman la formulation, dans ses cours, de ce qui est sans doute la plus lapidaire de la démarche scientifique : “**1. Make a guess; and 2. See if you’re wrong.**” (1. Fais une conjecture ; et 2. Vois si tu te trompes), qui correspond bien à ce qu’il en écrit : “One can only try to **guess** the answer and see **if experiment agrees** with that **guess**.”<sup>262</sup>

Pour lui,

« cette façon de **flairer** les résultats est **le début de tout science**. » (1980, p. 189-190).

Feynman développe particulièrement certaines idées tout à fait popperiennes :

« Vous vous rendez bien compte qu’avec cette méthode, on peut essayer de **réfuter** n’importe quelle théorie déterminée. Si on a une théorie déterminée, une véritable **conjecture**, à partir de laquelle on puisse aisément calculer les conséquences et les comparer à l’expérience, alors on peut en principe se débarrasser de toute théorie. On a toujours la possibilité de prouver qu’une théorie déterminée est **fausse** ; mais remarquez qu’on ne peut **jamais prouver son exactitude**.

Imaginons que vous inventiez une bonne hypothèse, que vous calculiez les conséquences et découvriez chaque fois que les conséquences calculées s’accordent avec l’expérience. La théorie est donc juste ? Non, simplement

---

<sup>262</sup> *Selected Papers of Richard Feynman*, Ed. Laurie M. Brown, World Scientific, 2000, p. 463.

on n'a pas prouvé qu'elle était fausse. (...) On n'est jamais sûr d'avoir raison, **on ne peut qu'être sûr de se tromper.** » (1980, p. 187).

Alors qu'il donne en 1966 une conférence au congrès de l'Association nationale des professeurs de science des USA, Feynman décide de leur parler, non de *comment enseigner*, mais *comment il a appris* : son père, au lieu de lui donner le nom des oiseaux rencontrés, lui demandait comment, à son avis, expliquer leur comportement (en l'occurrence, de lissage de plumes), puis l'engage à vérifier :

« J'avais donc **deviné de travers.** (...) Imaginez qu'au lieu de cela, on m'ait dit de **faire des observations**, de prendre des notes, de dresser une liste, de faire ceci et cela, de regarder ici et là, et de consigner le tout dans une fiche que j'aurais rangée dans un classeur avec 137 autres. La seule leçon que j'en aurais tirée, c'est qu'**une observation**, ce n'est pas bien drôle et que ça ne conduit pas à grand-chose. » (1980, p. 224-225).

Carl Sagan insiste, après Popper et Medawar, sur l'aspect créatif présent dans toute recherche, auquel fait suite l'esprit de contrôle :

« Au cœur de la science se situe un équilibre essentiel entre deux attitudes apparemment contradictoires –une ouverture aux nouvelles idées, même bizarres et contre-intuitives, et **l'examen sceptique** minutieux le plus impitoyable de toutes les idées, vieilles et neuves. »

La **pensée créative** et la **pensée critique** (creative thinking and skeptical thinking), poursuit-il, travaillent ensemble.

« Le mélange judicieux de ces deux modes de pensée est central pour le succès de la science. Les bons scientifiques utilisent les deux. (...) La plupart des idées n'apparaissent pas dans le monde extérieur » (1996, p. 304-305).

« La science diffère de beaucoup d'autres entreprises humaines (...) dans sa passion de **forger des hypothèses testables**, dans sa recherche d'expériences décisives qui **confirment ou réfutent les idées**, dans la vigueur de ses débats de fond, et dans sa volonté d'abandonner les idées qui se sont révélées déficientes. » (1996, p. 263).

Et le neurologue John Eccles, prix Nobel (1963) pour ses travaux sur la synapse, écrit en 1994 :

« Il est fort regrettable que la plupart des chercheurs qui travaillent sur le cerveau **pratiquent toujours la seule induction** et **croient que la science consiste à accumuler des faits** observables par l'expérience, d'où émanerait la vérité scientifique. La littérature consacrée au cerveau est révélatrice à cet égard d'une immense collecte de faits sur le sens duquel nul ne s'interroge à la lumière d'hypothèses scientifiques. **Popper a montré** (...) que l'induction n'était pas une méthode scientifique viable. Les avancées de la science viennent idéalement du **raisonnement hypothético-déductif**, qui consiste à formuler une **hypothèse** relative à une situation, puis à **l'éprouver** au moyen de connaissances pertinentes et de sa capacité d'explication. »<sup>263</sup>

L'évolutionniste Ernst Mayr ouvre son *Histoire de la biologie* (1982) par des questions d'ordre méthodologique :

« La **méthode hypothético-déductive** est, en substance, **la base de la recherche scientifique moderne**, bien que l'élaboration d'une hypothèse soit, en général, précédée par des observations et un questionnement. » (1982, p. 55).

Il s'appuie sur le philosophe et historien Collingwood, pour qui le premier pas consiste toujours à poser une question, l'hypothèse étant une tentative d'y répondre. (1982, p. 54).

Mayr achève son *Histoire* par un épilogue sur ce qu'il appelle *la science des sciences*, celle qui étudie « le progrès et la méthodologie scientifiques » (1982, p. 1088-1125) :

---

<sup>263</sup> Eccles, J. C. (1994). *Comment la conscience contrôle le cerveau*, Fayard, 1997, préface.

« Lorsqu'un scientifique se livre à un travail d'interprétation, il **construit des hypothèses**, et celles-ci sont toujours provisoires. Elles devraient toujours être **testées** et révisées, si elles paraissent insatisfaisantes. » (p. 1091).

Grand connaisseur de Darwin et des évolutionnistes, il cite l'analyse des œuvres, de la correspondance et surtout des carnets et manuscrits inédits de Darwin, qui ont montré le changement considérable de ses idées au cours des années 1850, le revirement de Lamarck en 1799 ou encore son propre passé de néo-lamarckien avant de se rallier au sélectionnisme. Ce qui, dit-il, n'est pas un signe de faiblesse chez un scientifique :

« c'est bien plutôt la preuve qu'il continue à porter attention à un problème, et qu'il est capable de **mettre à l'épreuve hypothèse après hypothèse**. » (p. 1091).

« Personne, mieux que Darwin, n'a décrit la manière dont fonctionne l'esprit d'un grand scientifique. Il a rapporté à de nombreuses reprises qu'il ne pouvait pas faire d'observation **sans aussitôt "spéculer"**, comme il disait. Tout ce qu'il voyait était pour lui sujet de questionnement. » (p. 1092).

Isabelle Stengers définit « la singularité des pratiques scientifiques modernes » en disant :

« il ne s'agit **plus de vaincre le pouvoir de la fiction**, *il s'agit toujours de le mettre à l'épreuve* (...). En d'autres termes, il s'agit toujours d'inventer les pratiques qui **rendront nos opinions vulnérables** » (1993, p. 151).

Plus tard, la vision de Popper a été affinée par ses successeurs –ainsi, une théorie n'est-elle pas historiquement rejetée dès qu'elle est réfutée-, notamment Kuhn (1962), Lakatos (1978) et Feyerabend (1975), ce dernier titrant vigoureusement son œuvre principale *Contre la méthode*.

Il s'y dresse contre tout carcan méthodologique, notamment “contre les entraves à l'imagination”, et en appelle à la diversification des hypothèses.

Sans entrer dans l'analyse des modifications proposées par ces auteurs, notons que le plus incisif d'entre eux s'attaque à la méthode... avec méthode, ce qui est instructif, car lorsque Feyerabend rejette, à la fin de son ouvrage, le falsificationisme naïf, l'empirisme, comme le rationalisme, il nomme ces systèmes des *hypothèses*, et nous montre alors comment il traite ce genre d'entités :

« Si de telles **hypothèses** peuvent être parfaitement plausibles, et même vraies, encore est-il **nécessaire de les vérifier** de temps en temps (...), de tels **tests** se font constamment, et ils témoignent contre la validité universelle de n'importe quelle règle. Toutes les méthodologies ont leurs limites » (p. 333).

Il ne doit donc pas y avoir tout à rejeter dans le *test d'hypothèse*, puisque même lorsqu'il se prononce contre toute méthode, c'est justement ce qu'il emploie. De même, concernant l'énorme cratère fictif que dessine Galilée sur la Lune, certains avaient prétendu que cette erreur provenait d'un regard trop bref dans sa lunette, mais Feyerabend utilise des caractéristiques du texte ainsi que du dessin original de Galilée pour *réfuter* une idée d'un autre auteur :

« Je crois que cette description **réfute** définitivement l'**hypothèse** d'un laxisme de l'observation, avancée par Kopal. » (p. 147).

### 1.2.9.3. De nos jours : regards sur la science en marche

La démarche scientifique est donc, dans ses grandes lignes, hypothético-déductive pour, entre autres au XX<sup>e</sup> siècle et dans la lignée de Claude Bernard, des savants tels que Poincaré, les Curie, Einstein, Medawar, Jacob, Monod, Eccles, Mayr, Feynman ou encore Sagan.

Et la lecture régulière de revues scientifiques telles *La Recherche* ou *Pour la Science* permet d'y rencontrer très fréquemment des auteurs qui font état de leurs propres hypothèses. La présentation de leur démarche risque cependant d'être modifiée par une reconstruction *a posteriori*, plaçant des

hypothèses là où elles auraient “logiquement” dû, ou pu, se trouver, omettant les errements et les voies sans issue. Divers travaux d’historiens des sciences ont montré que c’était là une pratique courante. Mais lorsque les scientifiques présentent une *recherche encore inachevée*, et avancent des hypothèses avant de détenir la solution, avant même de mettre en œuvre les expériences qu’ils se proposent de faire, ce biais ne peut, par force, exister.

À titre d’exemple, un article paru dans *La Recherche* en janvier 2006 présente-t-il une énigme scientifique non résolue : un gène (et non un caractère) semble sauter une génération, et réapparaître dans la descendance de mutants alors que leurs parents en sont *a priori* dépourvus. “Les faits sont troublants”, lit-on en en-tête de l’article, dont le titre, “Un mutant défie Mendel”, dit assez qu’ils n’entrent pas dans le cadre de la théorie. Sont alors avancées, au fil de l’article, pas moins de huit hypothèses, dont trois ont été testées, une écartée en considération d’une observation antérieure, pour une autre, « l’une des expériences à réaliser en premier serait (...) », et rien encore n’est suggéré pour les trois dernières. « On le voit, les **spéculations** vont bon train » note l’auteur de l’article, avant d’indiquer la piste du rapprochement avec d’autres recherches (sur le Lin), tandis que par ailleurs :

« Des données récentes, encore préliminaires, pourraient contribuer à faire **le tri parmi les spéculations** (...). On attend avec impatience la publication de ces résultats. »<sup>264</sup>

Le biologiste Pierre Joliot, petit-fils de Pierre et Marie Curie, professeur au Collège de France et membre de l’Académie des sciences, déclare :

« quand nous nous sommes laissés aller à une certaine **liberté de pensée**, il faut faire intervenir la rigueur pour **tester ses intuitions** qui sont souvent à la base des découvertes. Donc, pour moi, le rationalisme en science est un équilibre permanent entre intuition, liberté de pensée, liberté même de manier le paradoxe, et ensuite rigueur et raisonnement pour **tester si les idées nouvelles** que l’on essaye de formuler sont valables. (...) Pour moi, les deux ne sont pas contradictoires : **liberté, créativité** et ensuite, **raisonnement et rigueur** sont deux attitudes complémentaires. Un grand scientifique doit obligatoirement manier ces deux attitudes ; **s’il n’en manie qu’une, il sera toujours inefficace**. (...) il n’y a pas de moyen de détecter d’une manière évidente ce qui est nouveau et génial et ce qui est erreur. Et quand vous vivez dans votre laboratoire, vous êtes confrontés tous les jours à ce problème, vous ne savez pas ce qui est nouveau et important et ce qui est simplement une erreur scientifique, il vous faut beaucoup de temps vous-même pour faire **le tri entre le vrai et le faux**. » (*France-Culture*, avril 2003)<sup>265</sup>.

Très récemment (2008), le biologiste Georges Chapouthier a dressé un bilan des “espèces” de chercheurs qui se rencontrent en biologie, notamment du point de vue de la méthode :

« En ce début de XXI<sup>e</sup> siècle, à l’heure où la biologie triomphe dans beaucoup de domaines, il serait erroné de croire que tous les chercheurs sont, dans leur démarche, construits sur le même moule. (...) **Deux grands courants** (...) existent dans la biologie d’aujourd’hui quant aux rôles respectifs de l’**hypothèse** et de l’**expérience** dans la production des résultats et la progression du savoir : le courant **conceptualiste** et le courant **empiriste**.

Pour les tenants du **courant conceptualiste**, l’essentiel de la démarche heuristique réside dans **les hypothèses** : il faut “conceptualiser” les phénomènes (...). Ce courant tire de **très forts arguments de l’épistémologie**, dont le rôle est justement de démêler, dans les résultats scientifiques, l’écheveau des constructions d’hypothèses. Mais ce courant tend à oublier un fait très familier à tous les chercheurs qui ont pratiqué la recherche en biologie : que, très souvent, **on ne trouve pas du tout ce que l’on cherchait**, que l’on aboutit à un résultat totalement inattendu et que l’on **reformule a posteriori** une hypothèse qui n’a rien à voir avec celle dont on était parti !

À l’opposé, les partisans du **courant empiriste** attribuent aux hypothèses une part bien **moindre** et considèrent qu’une fois le **problème** posé, il faut laisser les faits parler d’eux-mêmes, que le résultat n’est que rarement prévisible à l’énoncé des hypothèses et que d’une série d’expériences émerge généralement un résultat que l’on peut ensuite insérer dans l’édifice théorique de la science. Bien entendu, **les hypothèses de départ doivent**

<sup>264</sup> « Un mutant défie Mendel », *La Recherche* n°393, janvier 2006, p. 58-60.

<sup>265</sup> *Rationalisme et démarche scientifique*, Pierre Joliot et Gabriel Gohau, *Cahiers rationalistes* n° 564, mai-juin 2003.

**exister**, au moins pour situer les limites du domaine de recherche, mais leur part est beaucoup plus modeste que dans la position conceptualiste.

En fait, le chercheur adopte **l'une et l'autre** de ces positions : le conceptualiste doit souvent corriger **ses hypothèses** à la suite de ses (més)aventures empiriques, et, à l'inverse, l'empiriste est bien obligé de partir **d'une hypothèse**, même sommaire, pour entreprendre ses expériences. Il n'en reste pas moins que ces deux courants s'opposent, bien souvent, à travers les chercheurs qui les prônent et qui ne manquent jamais de critiquer les collègues-chercheurs de l'autre courant. Pour les conceptualistes, les empiristes n'ont pas d'hypothèses. Pour les empiristes, les conceptualistes ont une approche idéalisée de la science et prévoient les résultats avant même d'avoir fait l'expérience, ce qui serait "un non-sens biologique". »<sup>266</sup>

Le débat épistémologique ne serait donc pas mort, il aurait même, comme au temps des sectes médicales de l'Antiquité par lesquelles nous avons commencé, des *Empiriques* opposés non plus à des *Dogmatiques*, mais à des *Conceptualistes*. Et les empiriques du XXI<sup>e</sup> siècle sont comme leurs prédécesseurs du temps de Galien : ils font usage des hypothèses.

On remarque que les deux courants actuels ont, justement, un important point commun : ils font des hypothèses qui précèdent et déterminent les expériences, qui sont, de ce fait, destinées à les tester. Notre troisième voie, en somme, même si les uns font plus grand cas de leurs ingénieuses hypothèses et les autres, de leurs habiles expériences. Les conceptualistes ont donc tort de voir les empiristes démunis d'hypothèses, puisqu'ils en font, et les empiristes, tort de reprocher aux conceptualistes de *prévoir* leurs résultats : tout ce qu'ils peuvent être en mesure de faire, c'est d'*espérer*, comme disait Galien des Empiriques antiques, que les résultats soient conformes à leurs attentes.

Les conceptualistes, s'ils sont familiers de la recherche, savent que souvent on ne trouve autre chose que ce qu'on cherche, comme le faisait déjà remarquer Whewell, ce qui ne peut que les inciter à ne pas trop tenir à leurs hypothèses de départ et à ne pas être trop sensibles à ce drame décrit par Thomas Huxley (1870) :

« La grande tragédie de la Science : la mise à mort d'une belle hypothèse par un horrible fait »<sup>267</sup>.

Qu'ils fassent mine ensuite d'avoir toujours été liés à une hypothèse féconde et légitime en lieu et place d'évanescences et frêles suppositions désormais envolées n'est un artifice de présentation qui a moins pour but de masquer une frivolité d'esprit que de présenter une exposition "logique" de leurs travaux.

Richard Feynman commence d'ailleurs par ce sujet sa *conférence Nobel* de 1965 :

« quand nous écrivons un article pour une revue scientifique, nous avons l'habitude de présenter un travail aussi bien fini que possible, **d'effacer toutes nos traces derrière nous**, d'oublier les impasses, de ne jamais écrire les **idées fausses de départ**, et ainsi de suite. De sorte qu'il n'existe aucune publication où l'on puisse raconter, de façon sérieuse, le travail tel qu'on l'a vraiment fait » (1980, p. 235),

À la même époque et pour des raisons similaires, Peter Medawar publiait un article au titre provocateur : "*Is the scientific paper a fraud?*"<sup>268</sup> Mais la situation qu'il décrit est pire : non seulement le chercheur ne peut pas exposer la démarche hypothético-déductive errante qu'il a suivie, mais il doit même se plier à un "format inductif" de présentation.

Johsua et Dupin (1993), suivant les réflexions épistémologiques depuis le domaine pédagogique qui est le leur et dans lequel nous allons entrer maintenant, font remarquer que malgré leurs divergences,

<sup>266</sup> Chapouthier, G. (2008). « Qu'est-ce qu'un biologiste aujourd'hui ? », *Pour la Science* n°366, avril 2008, p. 30-33.

<sup>267</sup> *The great tragedy of science - the slaying of a beautiful hypothesis by an ugly fact*, in Huxley, T.H. (1870). "Biogenesis and Abiogenesis", *Collected Essays*, Appleton ed., VIII, 1894, p. 244.

<sup>268</sup> *The Listener*, 70, 12 septembre 1963, p. 377.

« (...) aucun des auteurs contemporains ne retient plus l'hypothèse d'une inférence simple, univoque, voire "naturelle" susceptible de conduire des données observationnelles à la théorie modélisée ».

Pour eux comme pour la plupart des observateurs,

« (...) le caractère principal de l'élaboration scientifique apparaît de nature **hypothético-déductif**. » (p. 49).

Nous verrons cependant que ce caractère peut être considéré, non comme excluant les autres, mais comme les englobant (partie 2.1.2.1.).

Les voies scientifiques sont tracées : concepteurs des programmes scolaires et savants influents vont œuvrer pour pousser les professeurs à s'engager, avec leurs élèves, dans celle qu'ils estiment être la meilleure.

### 1.3. Les démarches pédagogiques sous le signe des démarches scientifiques

**Citoyens ! Depuis longtemps, la partie éclairée de la nation demande une bonne traduction de Bacon, l'illustre philosophe anglais ; cet ouvrage est indispensable aujourd'hui pour les écoles normales que vous avez fondées.**

**Joseph Lakanal, président du Comité de l'Instruction publique  
(14 novembre 1794).**

L'*Encyclopédie* ou *Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* est un ouvrage majeur du XVIII<sup>e</sup> siècle, le premier d'une telle envergure en langue française, synthèse des connaissances du temps : d'Alembert s'y prononce sur **l'enseignement des sciences** dans le *Discours préliminaire* (1751) ainsi que dans l'article *Expérimental* (1756).

Ces textes auront, sur ce sujet, une portée beaucoup plus grande que les recommandations du manuel confidentiel de Diderot (1753). D'Alembert va répandre, sur la base newtonienne, l'idée de l'enseignement de la connaissance scientifique par extraction directe à partir des faits :

« Les explications dans un **cours de Physique** doivent être (...) **amenées par les faits, ou renfermées dans les faits mêmes** par la manière dont on les présente. » « **L'observation** journalière **nous apprend** de même que l'air est pesant » (article *Expérimental*).

« La seule ressource, c'est (...) **d'amasser le plus de faits** qu'il nous est possible, de les disposer dans l'ordre le plus naturel, de les rappeler à un certain nombre de faits principaux dont les autres ne soient que des conséquences. Si nous osons **quelquefois** nous élever plus haut, que ce soit avec cette sage circonspection qui sied si bien à une vue aussi faible que la nôtre. »

« **Une expérience** sur la réflexion de la lumière donne **toute la catoptrique** ou science des propriétés des miroirs ; **une seule sur la réfraction** de la lumière produit **l'explication** mathématique **de l'arc-en-ciel**, la **théorie des couleurs**, et **toute la dioptrique** ou science des propriétés des verres concaves et convexes ; **d'une seule** observation sur la pression des fluides, **on tire toutes les lois de l'équilibre et du mouvement de ces corps** ; enfin, **une expérience unique** sur l'accélération des corps qui tombent fait **découvrir les lois** de leur chute sur des plans inclinés, et celles du mouvement des pendules. » (*Discours préliminaire*, 1751).

“Voir pour comprendre” : les programmes de Physique que Bachelard dénonçait par cette expression (1932, p. 12) n'étaient pas éloignés de la “logique” énoncée par d'Alembert.

Les observations et les expériences, et même l'unique observation d'un phénomène d'où on tire comme par nécessité la loi, donnent une image de la science qui n'est pas éloignée de ce qui peut se passer dans des classes actuelles.

Lakanal, lorsqu'il jette le premier pont entre philosophie des sciences et enseignement, invoque plus volontiers Bacon, figure tutélaire des *écoles normales de l'an III*.

### 1.3.1. Lakanal : Citoyens !...

25 Brumaire an III : à la tribune de la Convention, qui vient de créer ces écoles normales, Lakanal harangue les élus, réclamant l'impression *aux frais du gouvernement* de la traduction de Francis Bacon.

Il s'agit de la première formation d'instituteurs prise en charge par un État dans le cadre d'une politique scolaire unifiée (Macherey, 1992) : des écoles des maîtres, qui seront d'abord des écoles des méthodes. Un "Projet tendant à révolutionner l'instruction"<sup>269</sup> les inspire, le décret de la 4<sup>e</sup> sans-culottide de l'an II [20 septembre 1794] les institue. Lakanal, en charge de l'instruction publique et auteur pour l'occasion d'un *Rapport sur Bacon* (1794a), se réfère à la méthode baconienne dans son *Rapport sur l'établissement des écoles normales* (1794b) :

« L'esprit humain, conduit au hasard quand il se dirigeait bien comme quand il errait, a trouvé, après tant de siècles d'égarément, la route qu'il devait suivre, et la mesure des pas qu'il devait faire. **Bacon, Locke** et leurs disciples, en approfondissant sa nature, ont trouvé tous ses moyens de direction ; un nouveau jour s'est répandu sur les sciences qui ont adopté cette méthode si sage et si féconde (...) qui **compte tous les pas qu'elle fait**, mais qui n'en fait jamais un ni en arrière, ni à côté. »

L'influence profonde de Bacon, auteur de la *Grande Restauration des sciences* dont la partie essentielle est le *Novum Organum* ou « Nouvel Instrument », se retrouve jusque dans les termes employés par Lakanal : Cette méthode, celui-ci,

« deviendra l'**organe** universel de toutes les connaissances humaines et le langage de tous les professeurs, (...) **instrument** indispensable dans une grand démocratie. »

« Dans ces écoles, ce n'est donc pas les sciences qu'on enseignera, mais l'art de les enseigner ; au sortir de ces écoles, les disciples ne devront pas seulement être des hommes instruits, mais des hommes capables d'instruire (...), les **restaurateurs** de l'esprit humain » (1794b).

La visée première de ces écoles est l'art d'enseigner les sciences : les "premiers maîtres d'écoles d'un peuple" devront paraître dignes d'être "les collègues des Lagrange, des Daubenton, des Berthollet" : un mathématicien, un naturaliste et un chimiste.

De toutes les parties de la République des citoyens viendront écouter à Paris, durant plusieurs mois, ces grands maîtres dispenser des "cours de l'art d'enseigner les connaissances", avant de repartir former des instituteurs dans leurs régions, où ils ouvriront une école normale, avec un objet bien défini :

« (...) **transmettre** aux citoyens et citoyennes qui voudront se vouer à l'instruction publique, **la méthode** d'enseignement qu'ils auront acquise dans l'école normale de Paris. »<sup>270</sup>

D'où le nom de ces écoles (de "norma", règle), qui seront "le type et la règle de toutes les autres". C'est donc avant tout un discours de la méthode qui doit être dispensé à cette "jeunesse savante et philosophique", qui le transmettra ensuite aux instituteurs de l'an III.

P. Macherey (1992) commente :

« ce qui rend cette expérience particulièrement intéressante, ce sont les **présupposés philosophiques** qui l'inspiraient, (...) effectuant le **lien organique entre la philosophie et la pédagogie** ».

---

<sup>269</sup> Coupé (J.-M.). *Projet tendant à révolutionner l'instruction*, in *Procès verbaux du Comité d'Instruction publique de la Convention nationale*. Imprimerie nationale, 1901. Tome IV, p. 460-461.

<sup>270</sup> Décret relatif à l'établissement des écoles normales du 9 brumaire an III [30 octobre 1794], Convention nationale, in *Recueil des lois et règlements concernant l'instruction publique depuis l'édit de Henri IV en 1598 jusqu'à ce jour*. Paris, Bruno-Labbé, 1814-1828, tome 1, deuxième section, p. 26-28.

La journée d'étude "Des cours révolutionnaires : L'École Normale de l'an III", organisée avec le concours du *Centre Commun d'Histoire des Sciences et d'Épistémologie* de Lille 1 (19 octobre 2006)<sup>271</sup>, présente ainsi cette tentative :

« Les enjeux pédagogiques se traduisent par des innovations importantes comme l'insertion de débats avec les professeurs, ou la consigne de ne pas lire les cours. Dans le domaine des sciences expérimentales, ils s'accompagnent d'une réflexion sur le **rôle de l'expérience**, par rapport aux usages des cabinets de physique. La **présentation d'expériences au cours des séances** vise directement à illustrer le contenu des cours, même si des effets théâtraux sont utilisés. Il s'agit ici d'**établir des lois à partir d'expériences fondatrices** plutôt que de séduire un public par des manipulations spectaculaires. Tandis que certains professeurs cherchent les voies d'un compromis entre pédagogie et recherche de pointe, d'autres semblent avoir sacrifié la première à l'autel de la seconde. »

Trop de ces grands savants exposent en effet leurs résultats sans se préoccuper de "l'art d'enseigner" !... Pour diverses raisons cette école révolutionnaire ne durera que quatre mois (janvier à mai 1795). Le rapport sur la clôture des cours indique :

« On doit convenir avec ceux qui ont demandé la suppression de cette École, qu'elle n'a **point pris, en effet, la direction que nous avons cru lui prescrire**, et que les cours, en général, ont plus offert jusqu'ici un **enseignement direct** des sciences qu'une **exposition des méthodes** qu'il faut suivre en les enseignant. » (Daunou, 1795).

Vincent (1994) relève :

« Dès l'époque apparaît la contradiction entre savoirs disciplinaires et savoirs pédagogiques ».

Un élève-instituteur de l'an III résume en chanson l'échec du projet<sup>272</sup> :

« Allez-vous en, gens de l'École, On ne peut rien faire de vous.  
L'entreprise en était trop folle : Allez-vous-en planter vos choux ! »

### 1.3.2. Des savants influents

Les grands savants ne formeront plus directement les instituteurs, mais continuent cependant, à travers ouvrages et positions politiques, à marquer de leur empreinte l'enseignement des sciences, et particulièrement successivement, le physicien Laplace, le naturaliste Cuvier et le chimiste Dumas.

#### Laplace (1749-1827) et les instituteurs.

Laplace fut l'un de ces grands maîtres de l'École Normale de Paris, mais lorsqu'elle ferme, il annonce dans sa dernière leçon :

« je me propose d'y suppléer, relativement à la Mécanique et à l'Astronomie, par la publication d'un ouvrage qui aura pour titre *Exposition du système du Monde*, et dans lequel j'ai présenté (...) la série des découvertes qui ont été faites, jusqu'à ce jour, sur le système du Monde »<sup>273</sup>.

Cet ouvrage (1796) compte « d'un sentiment unanime, parmi les plus beaux monuments de la langue française » (Arago)<sup>274</sup>, écrit avec clarté et sans équations, et qui est donc destiné aux jeunes enseignants de l'an III.

<sup>271</sup> <http://stl.recherche.univ-lille3.fr/colloques/20062007/JEanIII.html>, Journée d'étude organisée par l'UMR 8163 Savoirs, Textes, Langage et l'USTL Culture.

<sup>272</sup> Cité par J. Guillaume, article *Normale (école) de l'an III*, in Buisson (1911).

<sup>273</sup> Dixième leçon (21 floréal an III, 10 mai 1795), in *L'École normale de l'an III. Leçons de Mathématiques. Laplace - Lagrange - Monge. J. Dhombres* (dir.), Dunod, 1992.

<sup>274</sup> Andoyer, H. (1922). *L'œuvre scientifique de Laplace*, Payot, p. 10.

Pour Laplace (1796, p. 420-421), « les meilleurs modèles que l'on puisse se proposer dans les sciences » sont les ouvrages de Newton :

« on y voit les plus heureuses applications de la **méthode** qui consiste à **s'élever par une suite d'inductions**, des principaux phénomènes aux causes, et à redescendre ensuite de ces causes, à tous les détails des phénomènes. »

La description du détail de la procédure montre sa conformité avec les prescriptions de Bacon :

« Il faut choisir ou faire naître les phénomènes les plus propres à cet objet, les **multiplier** pour en **varier** les circonstances, et observer ce qu'ils ont de **commun** entre eux. Ainsi, l'on **s'élève** successivement à des rapports de plus en plus étendus, et l'on parvient enfin aux **lois** générales que l'on vérifie, soit par des preuves ou par des **expériences** directes, lorsque cela est possible, soit en examinant si elles **satisfont à tous les phénomènes** connus. »

Telle est, conclut Laplace, « la **méthode la plus sûre** qui puisse nous guider », et pour lui,

« aucun philosophe n'a été, plus que **Newton**, fidèle à cette méthode ».

Laplace décrit, à titre d'épouvantail, la route inverse, commune selon lui aux philosophes de l'Antiquité et à Descartes, Leibniz et Malebranche qui, « se plaçant **à la source** de tout, imaginèrent des causes générales pour tout expliquer », mais on sent, à la formule utilisée, que c'est Descartes qui est essentiellement visé puisque c'est précisément celle par laquelle Fontenelle opposait ce dernier à Newton. Surtout, Laplace dénonce, dans cette méthode, « **l'inutilité des hypothèses** qu'elle a fait imaginer », tandis que les progrès des sciences sont « redevables à la **méthode des inductions** » à laquelle ont été ramenés les “bons esprits”. Voilà énoncée avec autorité une nouvelle profession de foi contre les hypothèses.

Et si, quelque vingt ans plus tard, Laplace révisé son opinion sur les méthodes, c'est dans un ouvrage beaucoup moins lu que l'*Exposition du système du Monde* (1796) : sa *Théorie analytique des probabilités* (1814), où l'on trouve, dans l'introduction, un texte intitulé *Des divers moyens d'approcher de la certitude*. Après avoir évoqué l'hypothèse qu'il a lui-même proposée sur la formation et des étoiles, il réitère sa préférence pour l'induction, avec les mêmes phrases, mais en appelle à l'histoire des sciences pour modérer son enthousiasme :

« L'histoire des sciences fait voir que **cette marche lente et pénible de l'induction**, n'a **pas toujours été** celle des inventeurs. **L'imagination** impatiente de remonter aux causes, se plaît à créer des hypothèses ; et souvent, elle dénature les faits, pour les plier à son ouvrage : **alors**, les hypothèses sont dangereuses. »

Jusqu'ici, rien de nouveau.

« Mais quand on ne les envisage que comme des moyens de lier entre eux les phénomènes, pour en découvrir les lois ; lorsqu'en évitant de leur attribuer de la réalité, on les **rectifie** sans cesse par de nouvelles observations ; elles peuvent conduire aux véritables causes, ou du moins, nous mettre à portée de conclure (...). **Si l'on essayait toutes les hypothèses que l'on peut former** sur la cause des phénomènes ; on parviendrait par voie **d'exclusion, à la véritable**. »

Tout se passe comme si, après n'avoir retenu de Bacon que la marche lente et laborieuse de l'induction, dont on reconnaît l'empreinte dans la *voie d'exclusion* qu'il vient de nommer, Laplace, éclairé par le rôle joué par ses propres spéculations comme par l'histoire des sciences, était parvenu à intégrer les *instances de la croix* et ses hypothèses dans sa panoplie méthodologique : ce qu'il nomme “des hypothèses fondées sur les faits et rectifiées sans cesse par de nouvelles observations”. La suite du texte confirme cette impression :

« Ce moyen a été employé avec succès : quelquefois on est arrivé à **plusieurs hypothèses** qui expliquaient également bien tous les faits connus, et entre lesquelles les savants se sont partagés, jusqu'à ce que des **observations décisives** aient fait connaître **la véritable**. »

Si l'on rapproche ce texte de celui de Bacon (1620, II, 36), il paraît difficile de ne pas accorder l'équivalence entre **plusieurs hypothèses qui expliquent** (1814) et **séparation des chemins pour assigner une cause** (1620), ainsi qu'entre **observations décisives** (1814) et **instances de décision** (ou **cruciales**, 1620).

On peut également noter qu'en distinguant clairement deux sortes d'hypothèses, celles qui imposent leur loi et celles que les observations rectifient, celles qui plient les faits et celles qui s'y plient, qu'on pourrait nommer les unes hypothèses dogmatiques ou métaphysiques, et les autres, malléables, hypothèses de travail, tout en ne condamnant plus que les premières, Laplace ouvre la voie au positivisme d'Auguste Comte, qui se situera exactement sur la même ligne de partage. Et rappeler aussi que Bacon séparait les vues de l'esprit aptes à subir les **instances de la croix**, qui accélèrent la recherche, et celles qu'il nommait **anticipation de la nature**, rejetées comme téméraires, précipitées, extravagantes (1620, I, 26-27).

D'Alembert et Laplace œuvrent au XVIII<sup>e</sup> siècle pour transposer en classe le mot d'ordre newtonien, ce qu'accompliront deux scientifiques de premier plan au siècle suivant : le naturaliste Georges Cuvier (1769-1832) et le chimiste Jean-Baptiste Dumas (1800-1884).

De Cuvier, Flourens dit :

« C'est lui qui a porté dans l'enseignement de l'histoire naturelle ces **vues philosophiques** et générales, qui jusque-là n'y avaient point pénétré encore »<sup>275</sup>,

tandis que N. Hulin-Jung (1989, p. 310) relève :

« **Les conceptions sur la physique du chimiste J.-B. Dumas ont influé sur l'orientation de l'enseignement** de cette discipline à travers les instructions de 1854, reprises en 1890, et, par conséquent, sur la formation des physiciens français ».

Ces conceptions rejoignent celles de Cuvier, Dumas écrivant par exemple :

« Si j'en étais le maître, j'effacerais le mot *atome* de la science, persuadé qu'il va **plus loin que l'expérience** ; et **jamais** en chemin **nous ne devons aller plus loin que l'expérience**. » (1837, p. 290).

Il ne sera pas le maître de la science, mais celui de l'instruction publique, et pourchassera en effet l'esprit spéculatif, qui s'aventure au-delà de l'observation ou de l'expérience.

### **Cuvier et l'enseignement impérial, puis royal.**

Le maître en la matière c'est d'abord Cuvier, nommé en 1802 commissaire pour la formation des lycées, et dont Napoléon voulait faire le précepteur de son fils. Il exprime en 1807, concernant les sciences dans l'Instruction publique, cette idée :

« leur marche nécessaire offre un type de bon raisonnement dont il faudrait que l'on se rapprochât » (cité in Hulin, 2000, p. 47).

Or il décrit ainsi cette "marche nécessaire" :

---

<sup>275</sup> Flourens, P. (1845) : *Cuvier, Histoire de ses travaux*, Paulin, p. 60.

« Bacon (...) montra que, dans les sciences positives, telles que les sciences naturelles, ce n'était **que des faits qu'on pouvait partir** : que toutes les vérités générales n'y devaient être que le résultat de la **comparaison** des faits particuliers »<sup>276</sup>.

Et dit plus loin :

« Haller possédait une qualité plus précieuse encore que son érudition, c'est sa **haine des hypothèses** » (*id.*).

Il fait en 1808 ce rapport à Napoléon :

« Telles sont les principales découvertes physiques qui ont illustré notre époque, et qui ouvrent le siècle de NAPOLÉON<sup>277</sup>. Quelles espérances ne donnent-elles pas elles-mêmes ! Combien n'en donne pas surtout l'esprit général qui les a occasionnées, et qui en promet tant d'autres pour l'avenir ! **Toutes ces hypothèses, toutes ces suppositions plus ou moins ingénieuses**, qui avaient encore tant de vogue dans la première moitié du dernier siècle, sont aujourd'hui **repoussées** par les **vrais savants** : elles ne procurent plus, même à leurs auteurs, une gloire passagère. **L'expérience seule**, l'expérience précise, faite avec **poids, mesure, calcul** et **comparaison** de toutes les substances employées et de toutes les substances obtenues, voilà aujourd'hui **la seule voie légitime** de **raisonnement** et de **démonstration**. » (Cuvier, 1808)<sup>278</sup>.

Sous Louis XVIII, Cuvier est, de 1819 à 1822, Grand Maître de l'Université, c'est-à-dire Ministre de l'Éducation, puis président du Conseil royal de l'Instruction publique.

Lui aussi est sous l'influence de Newton, et Ellenberger rapporte :

« Cuvier fustige la renaissance de théories fondées sur des principes *a priori*, retour, dit-il, à la méthode de Descartes **que Newton avait bannie**. » (1994, p. 10).

Cuvier, qui ne jure que par les faits, raille les “métaphysiciens” dans un Mémoire<sup>279</sup> qui ne manque pas de saveur, puisqu'il y commet exactement l'erreur qu'il reproche à ceux-ci. Il croit avoir découvert chez le Poulpe, après Aristote qui avait déjà décrit ce corps étrange, un “ver parasite d'un nouveau genre” (*Hectocotylus octopodis*), qui n'est en fait que l'organe copulateur du Poulpe mâle, tentacule transformé que celui-ci abandonne dans la femelle : voici cette sorte de pénis détachable élevée au rang d'espèce animale.

Cuvier annonce que l'animal qu'il a « l'honneur de présenter à l'Académie », est singulier :

« les **métaphysiciens** qui **s'amuse**nt à composer les vers de toutes pièces (...) auront beau jeu dans cette occasion. Voilà le corps du Poulpe qui a pour parasite un ver tellement semblable à un bras de Poulpe, que l'illusion ne peut être plus grande. »

Mais Cuvier se proclame de ceux « qui dès longtemps faisons **profession de nous en tenir à l'exposé des faits positifs** », et il décrit son parasite, dotant ce pénis d'un orifice alimentaire, qui “doit faire aussi fonction d'anus”, et il repère l'estomac de la bête.

Il annonce :

« Quoique je n'aie **pas vu** d'anneau autour de l'œsophage, **je ne doute guère** qu'il n'y en existe un ».

---

<sup>276</sup> Cuvier, G. (1841). *Histoire des sciences naturelles*, Fortin, Masson et Cie, tome 2, p. 277 et tome 4, p. 221.

<sup>277</sup> Dans l'édition de 1826, le “ siècle de Napoléon”, avec majuscules en 1808, devient juste “cette époque”...

<sup>278</sup> Cuvier, G. (1808). *Rapport historique sur les progrès des sciences naturelles depuis 1789, et sur leur état actuel*, présenté à Sa Majesté l'Empereur et Roi, en son Conseil d'État, le 6 février 1808. Imprimerie impériale, 1810, p. 389.

<sup>279</sup> Cuvier, G. (1829). « Mémoire sur un ver parasite d'un nouveau genre (*Hectocotylus octopodis*) », *Annales des sciences naturelles comprenant la physiologie animale et végétale*, par MM. Audouin, Ad. Brongniart et Dumas, tome 18, Crochard, 1829, p. 147-156.

Puis Cuvier poursuit :

« Telles sont les **observations** qu'il m'a été possible de faire sur ce ver vraiment extraordinaire. »

Les *observations* : on peut dire que Cuvier sait aussi voir avec les yeux de l'esprit. Se penchant sur l'"animal", il se demande "par quels organes l'espèce se propage" : il n'a pourtant que ça sous les yeux...

Son opinion sur la marche des sciences transparait également dans ses controverses avec Geoffroy Saint-Hilaire et Lamarck.

Geoffroy envisage audacieusement un plan d'organisation commun à tous les animaux :

« tout animal habite en dedans ou en dehors de sa colonne vertébrale »<sup>280</sup> (1819).

Idée à l'origine de sa querelle de 1830 avec Cuvier. Ses spéculations sont plus aventureuses encore que celles de Lamarck, puisqu'il fait de certains crocodiles normands les ancêtres de formes modernes, le crocodile de Honfleur étant celui des crocodiles actuels et celui de Caen l'ancêtre des Mammifères (1825)<sup>281</sup> ! L'exemple est d'ailleurs significatif : les deux savants du Muséum, qui ont écrit ensemble quelques mémoires de zoologie, examinent les mêmes *faits*, mais en tirent des *interprétations* fort différentes et pour le moins très hypothétiques pour Geoffroy. Cuvier lui, fixiste, conclut à l'absence de filiation entre ceux de Honfleur et les actuels :

« autant vaudrait dire que toutes nos espèces vivantes viennent les unes des autres »<sup>282</sup>.

Geoffroy se trompe, mais l'hypothèse n'est pas si chimérique : ce ne sont pas ces reptiles-là qui sont les ancêtres des Mammifères... mais d'autres.

C'est pourtant Lamarck, qui en plus de son transformisme avait une conception de l'immensité des temps géologiques elle aussi opposée aux vues de Cuvier, qui a droit à un éreintement en règle dans l'*Éloge funèbre* que lui compose ce dernier. Le comité de lecture de l'Académie des sciences proposant d'ailleurs des changements auxquels Cuvier se refuse, ce discours, rédigé après la mort de Lamarck (1829), ne sera lu qu'après la propre mort de Cuvier (1832), et c'est ainsi un mort qui parle d'un autre mort sous le toit de l'Académie des sciences : certains génies, dit Cuvier,

« n'ont mis au jour que des vérités certaines, (...) **ne s'exposant jamais à rien avancer de hasardé ou de douteux** (...). D'autres (...) ont eu moins de sévérité dans le discernement de l'évidence ; aux découvertes véritables dont ils ont enrichi le système de nos connaissances, ils **n'ont pu s'empêcher de mêler des conceptions fantastiques** ; croyant pouvoir devancer l'expérience et le calcul, ils ont **construit laborieusement de vastes édifices** sur des **bases imaginaires**, semblables à ces **palais enchantés** de nos vieux romans que l'on **faisait évanouir** en brisant le talisman dont dépendait leur existence. »

« Trop de complaisance pour une **imagination vive** » l'a conduit, selon Cuvier, à des "résultats contestables", à des "**écarts**"<sup>283</sup>.

---

<sup>280</sup> In Cuvier (1834), p. 437.

<sup>281</sup> « Recherches sur l'organisation des gavials ». *Mémoires du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris*, 12 : 97-155.

<sup>282</sup> *Recherches sur les ossements fossiles*, Ocagne, 1836, p. 319.

<sup>283</sup> *Éloge de M. de Lamarck* (mort en 1829), lu à l'Académie des Sciences par M. le baron Silvestre, 26 novembre 1832.

## Dumas sous le Second Empire.

Après le naturaliste Cuvier, c'est un chimiste, J.-B. Dumas, nommé Inspecteur Général de l'enseignement supérieur pour les sciences, puis vice-président du Conseil Impérial de l'instruction publique (1861-1863) qui préside aux destinées de l'enseignement impérial, qui va réorganiser celui des sciences.

Son projet est avant tout de lutter contre l'exposition dogmatique et théorique des "sciences d'observation" (physique, chimie, histoire naturelle) qu'il tient à distinguer des "sciences intellectuelles" ou "sciences abstraites" dominantes que sont les mathématiques :

« La physique, la chimie, l'histoire naturelle, enseignées **sans expériences, sans manipulations**, sans l'examen attentif des **objets réels** qu'elles apprennent à connaître, sont des études stériles. (...) On veut en faire des sciences de **pure spéculation** » (1847, in Hulin, 2002, p. 32).

Or Dumas est exactement dans la lignée de Newton pour le recours aux faits et la défiance envers les hypothèses, mieux : ce sont justement, à l'en croire, les *chimistes* qui ont établi la bonne méthode, avant même que Newton y songeât. Il l'énonce dans sa première leçon au Collège de France :

« La chimie avait peu à gagner et beaucoup à perdre dans le concours des physiciens, à l'époque où ceux-ci n'avaient à lui offrir autre chose que leurs **systèmes** de mécanique moléculaire, basés sur l'existence d'atomes crochus ou d'atomes en spirale, **conceptions stériles** qui ne pouvaient servir qu'à jeter dans l'étude des phénomènes chimiques une déplorable confusion. (...) nous repoussons aujourd'hui du domaine de la science **toute spéculation trop éloignée des faits** observables. C'est qu'il existe entre les chimistes actuels et les anciens chimistes quelque chose de commun ; c'est **la méthode**. Et quelle est cette méthode, vieille comme **notre science** elle-même, et qui se caractérise dès son berceau ? C'est **la foi la plus complète dans le témoignage des sens** ; c'est une **confiance sans bornes accordée à l'expérience** ; c'est une **aveugle soumission à la puissance des faits**. Anciens ou modernes, les chimistes **veulent voir avec les yeux** du corps avant d'employer ceux de l'esprit ; ils veulent faire **des théories pour les faits**, et **non chercher des faits pour les théories préconçues**. » (1836, p. 3-4).

C'est que, pour Dumas, les chimistes ont dès le départ utilisé la bonne méthode, en se défiant des systèmes des physiciens :

« comparés aux physiciens, aux mécaniciens et aux géomètres, **les chimistes** nous paraissent les **véritables inventeurs de l'art d'expérimenter**. » (*id.*, p. 4).

Les chimistes, de plus, possèdent la bonne méthode pour enseigner les sciences : Dumas cite dans sa deuxième leçon au Collège de France, pour illustrer son propos méthodologique, l'auteur d'un *Traité de chimie* (Nicolas Le Fèvre, (1660) « à qui il a été donné de **fonder l'enseignement de cette science** ».

L'exemple est intéressant puisque Le Fèvre compare deux manières d'enseigner : celle du physicien spéculatif, qui, interrogé par un élève, se contente de répondre à ses oreilles, et celle du chimiste qui « lui fait voir, sentir, toucher, goûter » :

« l'élève en **saisit par lui-même et par ses propres sens** toutes les qualités ».  
« C'est que les physiciens ont **peur de se compromettre en se noircissant les mains** de charbon. » (Le Fèvre, 1660, cité par Dumas, 1836, p. 54-55).

Dumas, après cette citation, poursuit :

« La distinction qu'établit ainsi Le Fèvre entre la chimie et la physique, telles qu'on les entendait de son temps, peut vous étonner ; mais elle est vraie. La chimie **prenant toujours l'expérience pour guide** dans ses recherches, pouvait exposer dès lors ses résultats précis ; l'autre science, rejetant ce **flambeau** pour **s'attacher à des idées purement hypothétiques**, se perdait au milieu d'un dédale d'**arguties puériles**. Voilà pourquoi

Nicolas Le Fèvre, en même temps qu'il témoigne pour l'une la plus haute admiration, traite l'autre avec un mépris si profond. » (*id.*).

Dumas, comme il se doit pour qui prône l'observation des faits, nous donne alors des détails plus concrets que cette vision générale, et la suite de l'histoire du brillant fondateur de l'enseignement de la chimie nous permet de voir la supériorité de sa méthode qui part des faits, que Dumas, donc, préconise en classe.

« Vous me demanderez maintenant à quel ordre d'idées Le Fèvre empruntait ses doctrines, puisqu'il repoussait avec tant de force les vues générales de la physique de son temps » (*id.*).

On ne le lui demandera pas, car on s'en doute : à l'expérience seule, mais quel en fut le résultat ? Le Fèvre n'admettait pas, en effet, les quatre éléments classiques d'Aristote (terre, eau, air, feu), mais se fiait aux résultats obtenus par lui-même,

« que lui fournissaient les matières végétales soumises (...) à l'action de la chaleur en vases clos » (*id.*).

La terre, l'eau, l'huile, le vinaigre et le sel.

L'expérience conduit donc, en effet, à une salade bien plus fiable !

Tels sont, en s'en tenant strictement à ce que montrent les faits, les éléments fondamentaux qui constituent toute matière, d'après les travaux même du fondateur de la "bonne méthode", relatés par celui qui a en charge l'enseignement et les méthodes à y appliquer.

Mais ce n'est pas tout :

« Au reste, Nicolas Le Fèvre avait senti le besoin d'admettre encore un nouvel élément, quelque chose d'analogue à la **quintessence** ou à l'**élément prédestiné** de Paracelse ; c'est ce qu'il appelait **Esprit universel**. Il ne l'avait **jamais vu**. Ses propriétés, il ne s'en rendait pas bien compte. Mais on voit que le rôle qu'il lui fait jouer n'est autre chose que celui qui appartient réellement à l'oxygène, qu'on croirait s'être révélé à lui, mais comme une idée très confuse et très obscure. Il pensait que cet esprit universel **émanait des astres sous forme de lumière** ; qu'il se corporifiait dans l'air, et qu'il produisait ensuite presque **tous les effets** observés dans les **minéraux**, les **plantes** et les **animaux**. » (1836, p. 55-57).

Voilà bien les découvertes auxquelles conduit, selon le mot de Dumas, l'"aveugle soumission à la puissance des faits" : Le Fèvre avait découvert en 1660, confusément, l'oxygène, cet esprit provenant de la lumière des astres et responsable de tous les effets naturels.

On croirait entendre Newton (1713, p. 180) ne faisant d'abord aucune place aux hypothèses, puis présentant son "esprit très subtil" qui agit partout, et qu'il nomme d'ailleurs aussi, après Le Fèvre, "esprit universel".

### **Contre l'esprit spéculatif et l'esprit d'examen.**

Un enseignement des sciences de teinte empiriste correspond à la vision de la marche des sciences de Cuvier et Dumas, et prend également place dans une organisation scolaire qui, mise en place par Napoléon 1<sup>er</sup> avec Cuvier, poursuivie par Napoléon III avec Dumas, présente avant tout, selon divers commentateurs, un aspect *utilitaire, pragmatique* et *non spéculatif*. Et même *autoritaire* dans le second cas au moins, puisque la réforme de 1852 est mise en place par un ministre, Fortoul, nommé le 3 décembre 1851, au lendemain, au sens propre, du coup d'État.

En 1847, Dumas rédige un rapport qui sera à la base des instructions en sciences de 1854, puis de 1890 et au-delà. Il faut **faire exécuter** aux élèves des manipulations, « **partir de l'expérience fondamentale** ».

L'histoire des sciences est présente, mais une histoire des sciences vue par Dumas :

« les appuyer toujours sur **des faits** ou sur **des expériences nombreuses, bien enchaînées** et bien exécutées. » (Hulin-Jung, 1989, p. 100).

Dans le secondaire, le coup d'État est suivi par la mise en place en 1852 de la “bifurcation” de Fortoul : après la 4<sup>e</sup>, une division entre une section “Sciences” et une section “Lettres”.

Dumas va rédiger les instructions nouvelles, déplorant que le professeur n'emploie les expériences, le plus souvent, que pour démontrer ce qu'il vient d'affirmer *a priori* :

« s'adressant d'abord **aux sens**, il doit **partir de l'expérience** fondamentale, toutes les fois que le sujet le permet, (...) obliger les élèves à s'en **rendre compte par eux-mêmes**, puis **fonder tout l'édifice** de sa **discussion** sur cette base. (...) La physique est une science expérimentale (...) et non point une science mathématique qui se soumettrait au contrôle de l'expérience. » (Hulin 2000, p. 51 et 54).

Ce texte, relèvent Bénédicte Bilobeau et Nicole Hulin, « tend à nier le rôle fécond que joue la théorie pour guider l'expérimentation », tout en démarquant l'enseignement de la physique de celui des mathématiques<sup>284</sup>.

La commission mixte de 1852, dont Dumas était rapporteur, limitait déjà la portée des sciences :

« plus elles tendent vers une **abstraction pleine de périls**, moins elles conviennent à **la masse** des jeunes gens. »<sup>285</sup>

G. Weil commente, dans son *Histoire de l'enseignement secondaire en France*<sup>286</sup> :

« La peur des études trop ambitieuses, **la crainte de faire des déclassés** les poussent à tout réduire, à tout abaisser ».

Des instructions détaillées suivent en 1854<sup>287</sup> : elles sont inspirées par les vues de Dumas. Fortoul, qui les signe, dit ce qu'il ne veut pas faire :

« former, pour un **monde imaginaire**, des **esprits chimériques** » (Instructions de 1854).

Il faut aller “du concret vers l'abstrait”,

« en conduisant peu à peu les élèves **de la contemplation** de l'univers **aux lois** qui le régissent »,  
« montrer comment on **observe un fait** et comment **du fait qu'on observe** bien, on tire soi-même des conséquences précises ». (*Id.*).

Ernest Renan (1871)<sup>288</sup> se rappelle son ressenti :

« Le coup d'État du 2 décembre nous froissa profondément. Dix ans nous portâmes le deuil du droit ; nous protestâmes selon nos forces contre le **système d'abaissement intellectuel** savamment dirigé par M Fortoul ».

Il poursuit, notant la pérennité de l'entreprise : « à peine mitigé par ceux qui lui succédèrent ».

Emile Durkheim fait une analyse qui rejoint ce point de vue :

« En 1852, on était tout au début du Second Empire, c'est-à-dire à un moment de véritable dépression intellectuelle. Pour prévenir le réveil des idées libérales, le gouvernement ne dispensait l'instruction qu'avec

---

<sup>284</sup> « La physique au lycée au tournant du siècle : des analyses critiques à la réforme et son application », in Hulin, 2000, p. 54.

<sup>285</sup> Commission mixte de 1852, citée in Hulin-Jung, 1989, p. 91.

<sup>286</sup> *Histoire de l'enseignement secondaire en France, 1802-1920*, Payot, cité in Hulin-Jung, 1989, p. 47.

<sup>287</sup> Présentées par Hulin-Jung, 1989, p. 135-152.

<sup>288</sup> *La réforme intellectuelle et morale*, Ed. Complexe, 1990, p. 15.

une mesquinerie inquiète et défiante ; on s'appliquait à **retrancher de l'enseignement tout ce qu'il pouvait avoir d'éducatif et de fortifiant pour l'esprit**, en un mot, à le rendre stérile. Ce n'est pas seulement la bifurcation, mais toutes les **méthodes pédagogiques de l'époque** qui ont laissé le plus sombre souvenir. » (*L'évolution pédagogique en France* (1904-1905), ch. XI).

### **Empirisme d'Empire.**

On ne formera donc pas “des esprits chimériques”, les méthodes seront celles qui éloignent des aspects spéculatifs susceptibles de développer l'esprit d'examen, et pour ce faire, dans les sciences dont divers métiers ont malgré tout besoin, c'est le côté *pratique et concret* qui doit être cultivé, sans place pour l'“abstraction pleine de périls” et l'imaginaire.

Un rapport ainsi la réforme :

« Quant aux sciences elles-mêmes, qui **paraissaient** le plus favorisées par le nouveau plan d'études, la valeur des **méthodes recommandées** pour leur enseignement fut mise en doute, et de **bons juges en ces matières** prédirent qu'à **force de vouloir** (...) viser en physique aux applications, on **nuirait** au développement **du véritable esprit scientifique**. »<sup>289</sup>

Le philosophe Alain Boyer résume, sur cet aspect général de l'éducation, les vues de Karl Popper :

« Popper va jusqu'à suggérer que (...) l'histoire de l'éducation en Occident aurait été **contaminée par l'esprit autoritaire et hostile à l'innovation** (...). Or, le paradoxe de **ce mode d'enseignement** est qu'en éliminant l'esprit critique, le risque de l'innovation et de **l'erreur “juvénile”**, l'originalité, la diversité et la marginalité même, **on tue l'intelligence à la source**. »<sup>290</sup>

Mais les élèves qui suivent l'enseignement concret des sciences dans la série “Sciences”, s'ils engrangent bien des connaissances par l'observation et l'étude pratique, n'acquièrent pas un niveau intellectuel suffisant : les facultés de médecine s'en plaignent. Ce qui pousse le ministre à demander à Napoléon III que ces élèves passent le baccalauréat... de la série “Lettres”<sup>291</sup> :

« Les Facultés et les plus illustres représentants de la médecine n'ont pas discontinué leurs plaintes. Suivant eux, **on avait abaissé le niveau intellectuel** du corps médical.  
(...) L'art de guérir, si précieux à l'humanité, exige, pour être cultivé et appliqué avec succès, autant d'efforts d'intelligence et de jugement que de connaissances théoriques et pratiques. »

Ce à quoi l'étude doit être consacrée est précisé :

« d'abord aux procédés de **l'observation** la plus attentive (...) Mais **l'observation elle-même serait stérile**, si toutes les ressources d'un **esprit** juste, actif, pénétrant, ne venaient tout à la fois l'assurer et l'étendre (...). Les trois Facultés de médecine ont dû délibérer solennellement, et deux d'entre elles, celles de Paris et de Montpellier, ont énergiquement protesté en faveur du baccalauréat ès lettres. Une commission spéciale, composée des médecins les plus distingués et des membres les plus éminents de l'Université, a émis le même avis. »

On avait laissé de côté l'esprit spéculatif au profit de l'observation et de l'empirisme, mais voici maintenant qu'il faudrait, pour la médecine en tout cas “spiritualiser la science”, dit le ministre.

Nicole Hulin-Jung analyse un certain nombre de jugements portés sur la “bifurcation” (1989, p. 271-283), qui mettent en relief la volonté impériale de former, pour la masse, des esprits pratiques, occupés à *l'observation* bien plus qu'à *la spéculation*.

Se rapportant à une distinction faite par le chimiste Henry Le Chatelier, elle relève :

---

<sup>289</sup> Jourdain, C. (1867). *Rapport sur l'organisation et les progrès de l'instruction publique*, Imprimerie impériale, p. 135.

<sup>290</sup> « Platon vu de Vienne. Société ouverte ou belle cité ? », *Internationale Zeitschrift für Philosophie*, 2, 2002.

<sup>291</sup> Rapport à l'Empereur du ministre Rouland, in *L'Art médical*, tome VII, Baillière, 1858, p. 315-319.

« L'enseignement des sciences peut être envisagé de deux manières ; l'une correspond à "l'intérêt spéculatif que la science présente pour tout esprit cultivé", l'autre "à l'intérêt pratique qu'elle comporte par ses applications". **La réforme de Fortoul privilégie le deuxième aspect.** »

Or, si le côté purement utilitaire a disparu de l'enseignement des sciences actuel, il demeure fortement l'héritier de la grande priorité accordée à l'esprit d'observation par rapport à l'esprit spéculatif, mis sous le boisseau de l'Empire.

Ainsi Antonin Debidour, historien politique, parle d'un détournement volontaire de "la liberté de l'esprit", qu'Auguste Blanqui qualifie sans ambages du "venin de 1852", destiné à former, après le coup d'État, "une masse d'abrutis et une poignée d'abrutisseurs".

Paul Langevin voit aussi, lors de ses Conférences au Musée pédagogique de 1926 et 1931, à la fois la restriction de l'esprit critique et l'impact que celui-ci possède *toujours* à son époque :

« En 1852, les sciences expérimentales ont été à nouveau introduites dans les programmes, mais uniquement sous forme **utilitaire**. Il semble qu'on ait **craint le développement du sens critique** que **doit faire naître** un enseignement des sciences bien compris ».

« Nos programmes actuels sont **encore imprégnés** de cette **défiance** envers les sciences et de cette conception utilitaire. » (Hulin-Jung, 1989, p. 281).

### Quand l'hypothèse réapparaît.

La série scientifique est centrée sur l'observation, l'induction, les aspects pratiques, avec même une "introduction à la mécanique industrielle". Or, que trouve-t-on dans la série *Lettres*, concernant les sciences ? Les notions scientifiques y sont bien sûr moins étendues que dans l'autre série, mais la **méthode**, notamment en "classe de logique" (la Terminale), est différente : alors que, pour ce niveau qui couronne l'enseignement, les élèves de la série *Sciences* ont droit à une "révision méthodique", ceux de la série *Lettres* ont un "aperçu de la marche des sciences", qui leur est réservé.

On s'attend à une glorification de l'observation et de la lente ascension inductive vers les lois : pas du tout ! Certes, les inductions sont bien présentes, mais "plus ou moins heureuses" (sic), et surtout elles ne sont qu'un élément d'un ensemble beaucoup plus vaste :

« L'exposition des phénomènes et des théories sera précédée fort utilement par un aperçu de **la marche des sciences**. Les jeunes gens verront dans ces indications **par quel genre de raisonnement** ont été faites ou perfectionnées **la plupart des découvertes**. Des **inductions plus ou moins heureuses** conduisent à rapprocher certains phénomènes ; en expérimentant pour étudier plus attentivement leurs ressemblances et leurs différences, on trouve des faits nouveaux ; puis on cherche à tout expliquer par des principes ou des **hypothèses** dont il est possible de **déduire** de nouvelles conséquences. » (Instructions du 15 novembre 1854)<sup>292</sup>.

L'induction plus ou moins hasardeuse conduit à l'hypothèse, mais ensuite, c'est une voie nettement hypothético-déductive qui est décrite. Les instructions poursuivent :

« Si elles [les hypothèses] se vérifient dans un grand nombre de circonstances, l'observateur prend confiance et se donne carrière<sup>293</sup> ; dans le cas contraire, quand **l'expérience a prononcé** sans appel, il ne peut sans s'égarer continuer à suivre sa première voie ; il est forcé de reconnaître que ses raisonnements, si rigoureux en apparence, pèchent par leur base (...). Les élèves verront ainsi qu'en physique (...) il faut se garder de pousser trop loin les conséquences d'un principe même certain lorsqu'on n'a pu les **vérifier**, les **contrôler par l'expérience**. »

Et cette étonnante leçon d'épistémologie se conclut par une insistance sur sa portée :

---

<sup>292</sup> H. Fortoul, *Réforme de l'enseignement. Recueil des lois, décrets, etc.*, cité in Hulin-Jung, 1989, p. 144.

<sup>293</sup> Se laisse emporter, donne libre cours.

« De toutes les leçons qu'ils recevront, celle-ci n'est **pas la moins importante**. »

Un discours de la méthode qui n'a rien à voir avec le type d'enseignement inductif qui se pratique à haute dose, et pour longtemps, dans les classes voisines et laborieuses de la section *Sciences*.

Nicole Hulin-Jung, qui fournit le texte de ces instructions, s'étonne, à juste titre, de leur teneur : elle cite des propos de Fortoul qui y sont contraires, se demande si Fortoul ne s'est pas laissé convaincre par Dumas, attaché à l'histoire des sciences –mais on a vu sa défiance envers les hypothèses (“jamais en chemin nous ne devons aller plus loin que l'expérience”) et, avec l'exemple de Le Fèvre, quelle était *son* histoire des sciences, empiriste et inductiviste.

L'hypothèse, bannie partout par ailleurs, occupe une place de choix à la fin des études secondaires *littéraires*, c'est-à-dire auprès des élèves appelés, non à des emplois intermédiaires qui *utilisent* des sciences, comme leurs camarades de la section *Sciences*, mais aux études et aux fonctions sociales les plus élevées.

Ce texte a aussi comme intérêt de montrer que les concepteurs des instructions *n'ignorent pas* la manière dont s'effectue, pour “la plupart des découvertes” et selon leur propre description, la marche des sciences. On n'y vient qu'en classe terminale –pour ceux qui y accèdent- et surtout dans la série littéraire, pour le reste, cette démarche *n'est pas* conforme la méthode d'enseignement préconisée.

L'apartheid scolaire paraît donc suivre, entre les sections Sciences et Lettres de la *bifurcation*, une logique analogue à celle qui sépare l'enseignement primaire du secondaire, première dichotomie.

Or la République ne met pas fin à ce “système de ségrégation”. Et Jules Ferry, concernant l'enseignement des sciences, avait été suffisamment informé par le rapport de la commission Boutan (1880) qui indique les finalités des sciences physiques et naturelles d'une part dans l'enseignement élitiste secondaire, d'autre part, à travers la formation des instituteurs, dans l'enseignement primaire :

« Dans l'enseignement **secondaire**, l'objectif principal, c'est la **culture intellectuelle**, dans son sens le plus étendu. Par l'étude de la physique, notamment, on apprend aux élèves **ce qu'est au juste la méthode expérimentale**, on leur explique son but, ses ressources, les magnifiques résultats que nous lui devons. Le **côté philosophique** de la question a ici une **grande importance** (...).

Dans l'enseignement primaire, le but à atteindre et par suite les moyens à employer sont **tout différents**. Nous nous adressons cette fois à des **intelligences encore peu ouvertes**, à qui la culture littéraire a manqué. L'élève-maître ne comprendra rien à ces synthèses hardies, à ces généralisations savantes qui **conviennent aux classes élevées de nos lycées**. Il faut le mettre, **immédiatement, en présence des phénomènes de la nature** qu'il a mal observés, il est vrai, mais qu'on lui apprendra à **mieux voir** (...).

S'agit-il des **lois** de la nature, on se bornera à formuler les plus importantes, en faisant suivre leur énoncé d'une **démonstration** expérimentale (...).

Viendront ensuite les applications usuelles auxquelles les principes précédemment formulés ont donné naissance. Les applications à l'agriculture et à l'industrie locale offriront un grand intérêt aux élèves-maîtres et serviront de **point de départ** aux futurs instituteurs. »<sup>294</sup>

La méthode expérimentale et son important “côté philosophique” pour les élites des lycées, mais le nez collé sur les “faits” et les démonstrations des lois pour les enfants du peuple : aux buts différents à atteindre sont associées des approches fort distinctes des sciences.

Ce système est basé sur le principe de domination de l'intellectuel sur le manuel, que résume l'ouvrage collectif *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?*<sup>295</sup> :

---

<sup>294</sup> Boutan, A. (1880). *Rapport de la commission des sciences physiques et naturelles*. Conseil supérieur de l'Instruction publique, Section permanente, Imprimerie nationale, p. 29-30.

<sup>295</sup> A. Giordan (coord.), 1978a, PUF.

« Au XVIII<sup>e</sup> siècle est apparue une tendance humanitaire visant à faire profiter le peuple des bienfaits de l'instruction (...). Au siècle suivant, la bourgeoisie française au pouvoir décidait d'utiliser l'éducation scolaire pour former les masses populaires dans **la soumission à l'ordre établi** ; l'école représentait alors le meilleur moyen de préparer les citoyens à leurs devoirs, **chacun à sa place** : les enfants de la bourgeoisie à la conduite du pays, **les enfants du peuple à l'obéissance et au travail**. Ce double objectif s'incarnait de façon parfaite dans l'école **républicaine** de 1880. Deux institutions bien distinctes (l'école primaire pour le peuple, les lycées et collèges pour la bourgeoisie) se trouvaient séparées par **un mur quasi infranchissable** » (p. 141).

Dans un autre ouvrage sur les missions de l'école dans la société, A. Giordan revient sur l'école républicaine :

« Les propos qui entourent les débuts de l'école étaient certes généreux. (...) En fait, on s'aperçoit avec le recul qu'ils répondaient étroitement à une **demande sociale bien particulière**, celle des débuts de la société industrielle, qui (...) réclamait de nouveaux savoirs pour travailler à l'usine. Avant de transmettre le "savoir lire et écrire" (...) l'école avait pour vocation de **préserver la société** », « école conçue (...) pour modeler un homme **standard et docile** » (2002, p. 45et 53).

Ce qui importe alors, explique A. Giordan, c'est avant tout l'"ordre", notamment dans "le respect des institutions, en particulier celui de la hiérarchie", et la méthode avec "le goût de la précision", "du travail bien fait", au détriment de la **créativité** :

« on comprend pourquoi on fait toujours une **place très restreinte** à cette dernière ».

Et cette place faite, ou non, à la créativité, détermine le type de démarche suivi dans l'enseignement des sciences et, avec ce choix, celui des individus qu'on veut former.

Cet aspect est dégagé de manière pénétrante par É. Claparède, dans un article de 1919 :

« Il est curieux que l'éducation, cet art dont on a de tout temps reconnu l'importance et, de tout temps aussi, signalé avec véhémence les imperfections, n'ait pas, depuis longtemps, subi la révolution qui doit la transfigurer. Cela provient en partie du fait que les autorités (ecclésiastiques et civiles) qui ont régi son domaine n'avaient **qu'un médiocre intérêt à introduire des méthodes développant l'initiative, l'indépendance d'esprit et le sens critique des masses populaires** qu'elles désiraient maintenir dans un état de docilité passive. »

### 1.3.3. La démarche des leçons de choses

C'est sur ce terreau de modération dans l'instruction scientifique que va venir se greffer une méthode qui, au départ, correspond à des intentions louables, mais qui, passant de la maternelle au primaire, va davantage arrimer les élèves aux considérations pratiques qu'y favoriser le développement de l'esprit créatif.

Les jeunes enfants ont besoin certes d'activité, et cette activité ne saurait mieux s'exercer qu'au contact des objets. Les idées de Rousseau (1762) sont fondamentales sur ce point, ainsi que leur mise en œuvre par Pestalozzi. On a vu en France quelle fin de non-recevoir avait reçu sa méthode intuitive de la part de Bonaparte. Il n'avait pas été plus heureux avec Robespierre à qui il s'était adressé, confiant dans les orientations de la Révolution française, obtenant cette réponse :

« Est-ce que vous croyez que j'ai le temps de m'occuper de l'A, B, C ? »<sup>296</sup>

Dans le même temps, à Genève, le jeune Guizot était élevé selon les principes de Rousseau, et ceux-ci voulant que tout homme connaisse un métier manuel, le futur ministre de l'Instruction apprit la

---

<sup>296</sup> Cité par Paul Bert, préface à *Lakanal. Les Hommes de la Révolution* de P. Le Gendre, Ed. Weill et Maurice, 1882.

menuiserie, construisant des objets de ses propres mains. C'est probablement cette éducation qui le conduisit à écrire en 1811 :

« Le *besoin d'agir* a, je crois, une puissance plus forte, plus étendue et plus durable qu'on ne le pense communément. C'est de là que naît l'ardeur que portent les enfants dans leurs jeux ; s'ils s'y plaisent, s'ils y réussissent si bien, c'est qu'ils sont libres alors de satisfaire ce besoin. Voyez-les jouant à la cachette, ou au milieu d'une partie de barres : ils sont en grand nombre, ils se croisent dans leurs courses ; sont-ils jamais embarrassés pour se rappeler quel est celui qu'ils peuvent faire prisonnier et celui par lequel ils ont à craindre d'être pris eux-mêmes ? Toutes leurs facultés, la mémoire, l'attention, le jugement, se déploient avec une énergie, avec une rapidité singulières : *c'est qu'ils agissent*. C'est que toutes les forces de leur esprit et de leur corps s'exercent de concert. **Que leurs études soient arrangées de manière à satisfaire aussi ce besoin** de leur nature, ils s'y plairont et y feront des progrès. » (Buisson, 1911, article *Activité*).

Cette idée, en France, sera avant tout adoptée par les fondateurs des écoles maternelles (“salles d'asile”, 1826) : le “comité de dames” et Jean-Denys Cochin, maire du XII<sup>e</sup> arrondissement de Paris. Ce dernier, peut-être encouragé par sa naissance le... 14 juillet 1789, reproche à la Révolution, à l'Empire, à la Restauration, d'avoir négligé les petits enfants. Son *Manuel des salles d'asile* de 1833 comporte des *leçons de choses*, première apparition du terme semble-t-il, et des *leçons par images*. L'année suivante, Marie Pape-Carpantier dirige à dix-neuf ans une salle d'asile d'une centaine d'enfants, et va bientôt devenir une propagandiste efficace de ces leçons de choses.

Les promoteurs de cette approche reconnaissent généralement leur dette envers Pestalozzi ou Rousseau. Wilderspin, l'influent fondateur des *Infants' schools* en Angleterre, par exemple, qui prône l'observation et le contact des objets dans son livre *The Infant System* (1923), y cite longuement un ouvrage du philosophe Thomas Reid (1764) où sont mises en avant “la méthode d'induction” de Bacon et l'éducation selon la nature de Rousseau. Le livre de Wilderspin servira au “comité de dames” à mettre en œuvre les leçons de choses en France, d'autant que Mme Millet, membre de ce comité, puis J.-D. Cochin se rendent en Angleterre pour y “puiser plus d'expériences et de lumières dans un examen approfondi” de ces écoles.

Ce type d'enseignement, caractéristique des tout petits, s'est aussi développé dans les “jardins d'enfants” d'Allemagne (F. Fröbel) et les écoles du même type aux États-Unis (E.A. Sheldon). Pédagogie pour les enfants de 2 à 6 ans, ses promoteurs l'ont assez naturellement axée sur l'observation, qui peut, à l'occasion, devenir action sur ou avec les choses. C'est elle qui va non seulement s'étendre en France pour cette classe d'âge, mais gagner progressivement l'enseignement primaire, se retrouvant dans les programmes de 1882.

L'acte fondateur de ce transfert de la maternelle au primaire se joue au moment de l'Exposition universelle de 1867, où la pédagogie va être mise en avant : 700 instituteurs délégués, élus par leurs collègues, viennent de la France entière écouter les conférences pédagogiques<sup>297</sup> organisées par le ministre et faites à la Sorbonne par Marie Pape-Carpantier, qui a popularisé la “leçon de choses” dans les salles d'asile dont elle est responsable.

Celle-ci monte donc à la tribune, devant Son Excellence M. le Ministre de l'Instruction Publique, pour l'Exposition universelle de 1867, “apothéose du Second Empire”.

La méthode des écoles primaires, inefficace, dit-elle,

« a mérité de se voir supplanter pas sa sœur cadette ».

« Vous savez aussi bien et mieux que moi, de quel mal souffrent vos écoles. Vous savez quelles longues classes ! Quels livres arides ! Quel *théorisme* ! Quel ennui ! »

---

<sup>297</sup> Pape-Carpantier, M. (1868). *Conférences faites aux instituteurs réunis à la Sorbonne à l'occasion de l'Exposition universelle de 1867*. Delagrave, 1879.

“L’enseignement théorique” reçu se détache, dit-elle, comme l’enduit d’un mur –image souvent reprise. Elle veut des enfants mis en présence de moins de livres et de plus de choses. C’est “ce sens pratique de la vie” qui fonde sa méthode. La leçon de choses, “méthode maternelle”, est “calquée sur la nature”. On imite les mères qui procèdent “par de gaies et gentilles causeries”...

On ne peut pas faire écrire des pages à des petits enfants « qui ne sont pas encore solides sur leurs jambes », si on leur fait apprendre par cœur, ils répèteraient sans comprendre, comme les grands, mais en plus ils réciteraient tout de travers. Leur agitation est naturelle et pour la contrer, il faut rendre les leçons “plus vivantes, plus pratiques”.

La méthode, qu’elle appelle *naturelle*,

« part de ce principe évident, que l’enfant ne prend connaissance de ce qui l’entoure **qu’au moyen de ses sens**. Que les sens sont les portes, les fenêtres, les ouvertures par lesquelles les notions du monde visible pénètrent dans son cerveau, pour fournir à son esprit la substance de ses idées. » (Pape-Carpantier, 1868, p. 6-10).

Ce qui rejoint Voltaire : « les sens sont les portes de l’entendement »<sup>298</sup>, ainsi que Rousseau (1762, p. 157).

Elle expose ce qui réussit bien à capter l’intérêt d’enfants de 2 à 6 ans : des objets qu’on leur met sous les yeux et entre les mains, et, pour convaincre son auditoire, elle exhibe divers objets, un morceau de pain, une diligence miniature... Même si souvent, dans ses livres, il s’agit plutôt d’histoires, de récits illustrés, les leçons de choses sont décrites comme toujours fondées sur l’*observation*. Les leçons de choses sont “en un mot, le **concret** et non l’*abstrait*”. Elle nomme encore les leçons de choses “des *démonstrations* expliquées” (p. 22).

Et c’est ce type de procédé de niveau maternelle, pour enfant « **tout yeux et tout oreilles** », qui va devenir le prototype de la leçon de sciences des grandes classes.

On peut noter que cette pédagogie de la maternelle centrée sur les objets n’est pas, *a priori*, évidente : si le monde des petits est celui du concret, c’est certainement aussi celui de l’imaginaire, et *partir* du concret n’est pas la même chose qu’*en passer* par le concret, pour paraphraser Kant (1787, p. 31) qui s’interrogeait sur *partir avec*, ou *tout dériver de* l’expérience.

Le titre des conférences indique qu’il s’agit bien de transférer une méthode :

« **Introduction** de la **méthode** des salles d’asile dans l’enseignement primaire. »

Alexander Bain, philosophe et pédagogue écossais, et son ouvrage *Education as a Science* (1879) sont une référence pour la leçon de choses. Il prend en exemple l’une d’elles, courante dans les manuels scolaires : celle sur la rosée. C’est pourtant, dit Bain, trop compliqué pour des enfants de dix ans. La remarque de Bain alors intéressante : tout enfant est un *natural philosopher* autodidacte, même les esprits les plus jeunes vont se faire une théorie (“une induction”, dit-il) sur les conditions de tout changement qui les frappe.

Un sol mouillé, de l’eau qui coule : ils vont conclure qu’il vient de pleuvoir (1879, p. 269). Ils vont faire, sur la rosée, une hypothèse que le professeur sait fautive, et Bain, qui parle de cette “philosophie naturelle” chez l’enfant, paraît bien proche de la notion moderne de *conception*. Que préconise-t-il alors ? Non pas un contrôle de la présence de rosée en l’absence de pluie. La suggestion pourrait pourtant venir de loin puisque sur un thème voisin, Socrate pour réfuter l’idée que la pluie provenait de Zeus, réclamait déjà de vérifier s’il arrivait qu’il pleuve sans nuées<sup>299</sup>. Mais Bain ne suit pas Socrate dans une telle investigation : le constat de la rosée suffira comme leçon de

<sup>298</sup> *Dictionnaire philosophique*, article *sensation* (1764).

<sup>299</sup> *Les nuées*, Aristophane, Théâtre complet I, Folio, 2002, p.242.

choses empirique, et, plus tard, une leçon fournissant toutes les données sur les changements d'état en fonction de la température permettra à la rosée d'apparaître comme une conséquence de lois.

Sur un autre exemple de Bain, le niveau d'eau dans le corps d'une théière et dans son bec verseur, Jean Hébrard (1996, p. 124) remarque qu'il s'agit avant tout de faire vivre à l'enfant quelques "expériences" dont il pourra tirer un savoir empirique (sur la hauteur du liquide aux deux endroits) :

« L'expérience **ne sert pas à confirmer ou infirmer une hypothèse**. Elle a seulement pour ambition de permettre à l'enfant d'observer des phénomènes qui, spontanément, n'auraient pas attiré son attention. La leçon de choses n'est rien d'autre qu'une accumulation d'observations pertinentes dont la récurrence forge progressivement le matériau empirique dont **pourra naître** la claire conscience d'une relation de cause à effet ou d'une loi. » (Hébrard, 1996, p. 124).

L'évidence doit s'imposer aux élèves, qui l'extraient des objets présentés :

« Apprendre par les choses (*objects teaching*) c'est apprendre à lire dans le monde visible qui nous entoure **l'évidence** des relations qui lient entre eux les objets et les phénomènes. » (*Id.*, p. 122).

Marie Pape-Carpantier distingue la leçon de choses des « *leçons par l'aspect* des Allemands », parce que l'aspect peut être trompeur, comme pour le Soleil par rapport à la Terre : la leçon de choses, elle, "enseigne par les réalités mêmes". Si elle ne dit pas comment la "réalité même" est, dans le cas qu'elle évoque, mise sous les yeux des élèves, on peut supposer que c'est par le biais d'une image ou d'une maquette du système solaire.

La leçon de choses est donc plus exactement ce qu'elle nomme ailleurs *enseignement par les yeux* : on met sous les yeux des élèves la réalité ou, à défaut, une "chose" qui en est une illustration exacte. La première conférence donne les fondements de cette méthode :

« **de chaque réalité elle fait sortir une connaissance** utile, un bon sentiment ou une bonne idée. » (Pape-Carpantier, 1868, p. 11-13).

Les connaissances étant extraites des choses elles-mêmes, l'approche est de type inductiviste. Ce que confirment les instructions et recommandations données aux inspecteurs du primaire dans la période suivant ces conférences :

« Nos maîtres ne sauraient donc trop faire effort pour se contraindre à procéder, en toute chose, (...) **du concret à l'abstrait**, de l'exemple à la règle, à éviter toutes les subtilités (...) de raisonnement »<sup>300</sup> (1868).

« La méthode recommandée à l'intelligente attention des maîtres est celle qui, **partant** (...) **de faits sensibles**, d'images ou d'exemples mis **sous les yeux** des enfants, **remonte graduellement** aux vérités que l'on veut faire connaître, aux principes dont les faits particuliers sont la conséquence »<sup>301</sup> (1874).

Cette forme de leçon, poursuit Marie Pape-Carpantier, a des règles "très fixes", c'est pourquoi on la nomme *méthode* :

« Ses principes et ses règles sont **ceux mêmes des opérations de l'entendement humain**, car les enfants ne sont pas autres que de petits hommes. Et la méthode suit dans ses démonstrations **la même marche que l'esprit** dans ses perceptions. » (1868, p. 12).

Ce qu'en dit Marie Pape-Carpantier est intéressant car elle nous révèle ce qu'est, pour elle, l'ordre des perceptions, inflexible, puis comment s'y adjoint la réflexion et jusqu'où elle va –et sans doute va-t-elle fort loin, puisqu'elle s'élève jusqu'au "sentiment religieux"...

Qu'est-ce qu'un petit enfant perçoit en premier dans un objet, tel une petite boîte ? Elle donne d'abord la règle générale, puis l'illustre d'un exemple. La première perception, "passive", c'est,

<sup>300</sup> Instruction générale du 17 août 1868, O. Gréard, in Kahn, 2002, p. 46.

<sup>301</sup> Brouard, E. et Defodon, C. (1874). *Inspection des écoles primaires*, Hachette, p. 115.

pour elle, la couleur. Puis vient la forme, et là « le travail du souvenir et de la comparaison » commence. Ensuite, ce ne sont plus des sensations mais des réflexions : l'enfant, dit-elle,

« cherche à deviner l'usage de l'objet soumis à son étude. Le petit philosophe veut déjà trouver la raison des choses !... »

Dans l'exemple qu'elle donne, pour trouver "la raison" de la boîte, le petit philosophe l'ouvre... Dedans, une médaille : on le satisfait sur son usage. Puis le « sens scientifique s'éveille, et il veut connaître la matière » de l'objet : "en quoi c'est-il fait ?" "En argent et en émail", voilà pour satisfaire le "sens scientifique". "Qui vous a donné cela ?", demanderont enfin les élèves, qui remontent « à la provenance, à la cause première », là où le maître éveille "le sentiment religieux", bien qu'on voie mal comment rapporter la médaille à Dieu, sauf naturellement si c'est lui qui les distribue.

Ils demandent donc l'origine du précieux objet,

« complétant sans préméditation, et à leur insu, l'enchaînement normal de leurs perceptions, tel que je vous l'indiquais tout à l'heure : couleur, forme, usage, matière, provenance. » (1868, p. 12-13).

Notons le changement d'objet qui s'est opéré : ils ne demandent pas en quoi est faite *la boîte*, ni ne parlent de la couleur puis de la forme de *la médaille*. Et il peut paraître surprenant qu'elle nomme *perceptions* chacun de ces cinq aspects puisqu'ils ne perçoivent rien des trois derniers, qu'on leur dit.

« Je ne m'arrêterai point à justifier par des raisonnements philosophiques cette marche des perceptions de l'enfant. Je ne réclame point de vous non plus une croyance aveugle. Ceci est du domaine des choses expérimentales, et il ne tient qu'à vous de l'expérimenter. »

Bien qu'elle ne nous livre pas le soubassement philosophique de ces règles "très fixes", la source en est très probablement Roger de Guimps, ce qui la rattache à Pestalozzi dont il fut l'élève de 6 ans à 15 ans puis l'héritier direct, auteur d'un ouvrage paru en 1860 sous le titre *La Philosophie et la pratique de l'éducation*. Pestalozzi fait, selon lui, la synthèse de ses devanciers : Montaigne, Comenius, Locke, Rousseau et Condillac. De Guimps donne un "ordre d'entrée en scène" des facultés intellectuelles, en donnant comme exemple :

« Parmi les choses qui frappent la vue, le goût de l'enfant n'apprécie d'abord **que la vivacité des couleurs**, plus tard leurs combinaisons, plus tard encore la **forme** des objets. » (1860, p. 22).

Si Marie Pape-Carpantier ne nous indique pas cette source, le contrôle expérimental qu'elle propose épargne en effet une croyance aveugle dans sa thèse, puisqu'il la réfute. On peut d'ailleurs le mener sur soi-même ou sur un adulte, puisque c'est "la même marche" pour les "petits hommes" que pour les grands.

Il est piquant de découvrir que la propagandiste des leçons de choses, qui a "sous les yeux" la "chose", si l'on peut dire, "enfant", et en de multiples exemplaires, ignore ce qu'elle observe et tient ses idées de ce qu'elle a lu. Elle ne saurait mieux nous montrer que ce contrôle expérimental, qu'elle semble ne pas craindre de braver crânement, n'est en fait ni dans sa culture, ni dans celle des instituteurs devant lesquels elle peut exposer sans sourciller (puis publier) une philosophie que leur expérience quotidienne devrait suffire à réfuter. (Ni dans celle du ministre non plus, mais c'est sans doute moins étonnant).

D'un autre côté, lorsqu'elle brisera un fouet devant les centaines d'instituteurs réunis, Marie montrera certes comment une image fait mieux qu'un long discours.

Elle aborde ce qui, pour elle, « fait la valeur des leçons de choses » :

« Ah ! Messieurs, cela tient à une grande loi, terriblement méconnue, qui ne veut pas qu'il y ait de *patient* en éducation ; qui veut que l'élève y soit un **agent actif**, aussi **actif** que le maître ; qu'il soit **collaborateur** intelligent dans les leçons qu'il en reçoit, et que, selon l'expression du catéchisme, *il coopère à la grâce !* » (1868, p. 17).

À “la grâce”, peut-être, mais il *coopère* seulement : dès ces premiers appels à l'activité de l'élève, notion promise à un riche avenir, celui-ci est vu comme *collaborateur* ou *associé*.

Les Instructions officielles de 1882 officialisent et en même temps *sécularisent* la leçon de choses de Marie Pape-Carpantier, en extrayant, bien sûr, l'année de la loi sur la laïcité, le sentiment religieux et la grâce, et la qualifiant d'intuitive, inductive et active :

« Méthode *intuitive* et *inductive*, partant des faits sensibles pour aller aux idées ; méthode *active*, faisant un appel constant à l'effort de l'élève et l'**associant** au maître dans la recherche de la vérité. »<sup>302</sup>

On voit que ce n'est pas le maître qui est associé à l'enfant dans la recherche de la vérité, mais l'inverse. La phrase décrit bien ce qui se passe dans la classe : le maître, qui sait quelle vérité est à rechercher et comment, donne ses instructions à ses jeunes *associés*.

Débarrassées de l'incessant passage du coq à l'âne pour finir à Dieu, et sans égard pour la curieuse loi de l'ordre “couleur-forme-usage-matière-provenance”, qui n'a pas survécu, les “démonstrations expliquées” ont acquis une place centrale dans l'enseignement primaire.

Dès 1867 étaient proclamés devant les délégués des instituteurs de l'Empire français les quatre piliers d'une nouvelle pédagogie, “tétrade pédagogique” impériale issue de la maternelle et appelée à se répandre dans le primaire, puis le secondaire :

- l'appui sur le **concret**,
- le primat de l'**observation**,
- la connaissance tirée de l'exemple, **induction**,
- l'élève collaborateur par son **activité**.

Les instructions de 1882, qui rendent les sciences *obligatoires* dans le primaire, donnent les leçons de choses comme modèle de l'enseignement des sciences, avec une présentation qui sera reprise en 1887 puis 1923, sans retouche majeure en 1938 et 1945 :

« Les sciences physiques et naturelles (avec leurs applications) [sont] présentées d'abord sous la forme de **leçon de choses** ».

« En tout enseignement, le maître, pour commencer, se sert d'**objets sensibles**, fait **voir et toucher les choses**, met les enfants en présence de réalités **concrètes**, puis peu à peu il les exerce à en **dégager l'idée abstraite**, à comparer, à **généraliser**, à raisonner sans le secours d'exemples matériels.

(...) L'enseignement primaire est essentiellement **intuitif** et **pratique** ».

“**Intuitif**” comprend :

« cette puissance innée qu'a l'esprit humain de **saisir du premier regard** et sans démonstration (...) les vérités les plus simples et les plus fondamentales ».

## **Pratique**,

« c'est-à-dire qu'il ne perd jamais de vue que les élèves de l'école primaire n'ont pas de temps à perdre en discussions oiseuses, en **théories** savantes, en curiosités scolastiques, et que ce n'est pas trop de cinq à six années de séjour à l'école pour les munir du **petit trésor d'idées** dont ils ont **strictement besoin** et surtout pour les mettre en état de le conserver et de le grossir dans la suite. » (1882).

---

<sup>302</sup> *Organisation pédagogique et plan d'études des écoles primaires publiques de 1882*, Delalain, 1882, p. 16, in Hulin (2002), p. 102-103.

“Dégager l’idée” est sans doute ce qui caractérise le mieux l’esprit de la leçon de choses, concept promis à une longue survie : on place sous les yeux des élèves les éléments appropriés et l’on attend qu’ils en extraient la “vérité” qu’ils contiennent, et qui, donc, ne viendra ni du maître, ni du manuel. La leçon de chose est, en quelque sorte, une *leçon d’extraction de l’évidence* à partir du réel ou, à défaut d’un substitut (image, texte...).

Et c’est cette extraction qui conduit à un “petit trésor d’idées”.

Or de ce principe d’une *extraction d’idées à partir de choses*, ou de documents les présentant, nous ne sommes pas loin dans l’enseignement actuel des sciences.

Gabriel Compayré, dans son *Cours de pédagogie théorique et pratique* (1897), mentionne les plaintes de Spencer sur le mauvais usage de la leçon de choses, qu’il partage :

« M.H. Spencer se plaint avec raison que dans les manuels de leçons de choses, on indique longuement une liste de faits que l’on *dira* à l’enfant. D’après lui, il faut seulement provoquer l’enfant à les découvrir par son observation personnelle. »<sup>303</sup>

Dans ce mauvais usage, le concept central est pourtant conservé : l’élève devant *extraire* la connaissance, il peut aussi bien le faire d’un discours ou d’un livre, tels ceux de Marie Pape-Carpantier.

Paul Bert, qui alterne avec Jules Ferry comme Ministre de l’Instruction publique au moment de la mise en place de la réforme de 1882, publie des manuels d’enseignement scientifique : un ministre qui donne des exemples de leçons correspondant aux nouvelles instructions, profitons-en. D’autant que ce manuel, *La deuxième année d’enseignement scientifique (sciences naturelles et physiques)* (Colin, 1885),

« ouvrage répondant aux nouvelles matières obligatoires de l’enseignement primaire et aux programmes des classes élémentaires des lycées et collèges »,

qui vise donc le niveau 11-13 ans et, au-delà, le secondaire, n’est pas uniquement utilisé à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle puisqu’il connaîtra... 74 rééditions, jusqu’en 1927. Ce qui se conçoit : les instructions n’ont pas changé.

La première leçon concerne la classification : le maître demande à l’élève quelle différence il y aurait entre une mouche et un cheval s’ils étaient de même taille, comme les présente un dessin. L’élève propose les ailes, le nombre de pattes : oui, dit le maître, mais si j’arrache à la mouche ses ailes ? Ou deux pattes ? Le maître demande alors si on peut écraser ces deux animaux, “réduire en bouillie” le cheval (une maison tombant dessus) comme la mouche : non dit l’élève.

« Et pourquoi ? C’est parce qu’il y a dans son corps (...) des os, (...) tandis qu’il n’y en a pas dans la mouche, pas même de tout petits. »

La leçon sur « les animaux à os et les animaux sans os » est faite... Mais, contrairement à ce que promeuvent les instructions, les élèves devront ici croire le maître sur parole.

Quant à la leçon sur la chaleur des animaux, qui fait suite, le maître demande à Pierre si, quand il met la main sur un chien ou un cheval, il le sent chaud ou froid, de même avec une poule, avant de lui mettre en main une “jolie petite couleuvre à collier”, une grenouille et son poisson rouge tiré du bocal, et voilà une nouvelle subdivision dans le monde animal, fournie par le maître, qui utilise la mémoire de l’élève et les constats qu’il lui fait faire.

---

<sup>303</sup> Compayré, G. (1897). *Cours de pédagogie théorique et pratique*, Delaplane, p.299-300.

On peut aussi se demander si Paul Bert s'en tient bien à l'observation et à ce qu'on peut en induire lorsque, dans ses *Éléments de zoologie* (1885, p. 51)<sup>304</sup>, il écrit que "l'angle facial" est :

« d'autant plus grand (...) que l'intelligence est plus développée »,

l'angle maximal se trouvant "chez le Bas-Breton", qui n'en demandait pas tant, et le minimal "chez le Nègre namaquois"...

« On constate que les races inférieures ont une capacité crânienne moindre que les supérieures »,

et les femmes moindre que les hommes, d'ailleurs la capacité du crâne

« augmente avec le temps, à mesure que l'instruction se répand et que la civilisation progresse » (p. 49).

Ce qu'apprend, donc, sur la foi d'un scientifique éminent qui "**examine les faits**", et ministre de l'Instruction de surcroît, toute une génération.

La méthode **intuitive, inductive, active** et **concrète**, "notre méthode", est devenue parfaitement naturelle selon les instructions de 1923 :

« Elle est devenue pour nous si classique, elle est **tellement entrée dans nos mœurs** que nous n'en sentons plus toujours la valeur, de même que n'apprécient pas toujours la valeur de la santé ceux qui ont l'habitude de faire jouer leurs organes sans douleur. Elle nous est **si naturelle** que nous l'appliquons parfois sans le savoir : si bien que nous ne la reconnaissons plus lorsque des auteurs étrangers - ou même des auteurs français - viennent nous en exposer les principes comme s'il s'agissait de sensationnelles nouveautés. La tâche qui s'impose à nous n'est pas de chercher une nouvelle méthode. Notre effort doit consister surtout à **éviter qu'à l'usage notre méthode ne s'altère**. »

La République ne fait donc que prolonger ce qui était présent dans l'Empire, sans faire davantage de place à l'esprit spéculatif.

### 1.3.4. L'induction triomphante et les travaux pratiques

Le même esprit va présider à une nouvelle réforme dans le secondaire, très importante celle-ci, puisqu'elle introduit, en 1902, des travaux pratiques pour les élèves. Cette réforme est accompagnée d'une série de conférences pédagogiques destinées aux professeurs (en 1904 pour la physique, et en 1905 pour les sciences naturelles), que critiquent Pierre Duhem (1936) et Michel Blay (2006).

Pierre Duhem, physicien et historien des sciences de renom, montre l'impact de la "méthode newtonienne" sur l'enseignement des sciences, qu'il déplore, dans *La théorie physique* (1906). Après deux paragraphes intitulés "Critique de la méthode newtonienne" (Chapitre VI, § IV et V) il en vient aux "**Conséquences** relatives à l'enseignement de la Physique" (§ VI) :

« (...) la méthode purement **inductive** dont **Newton a formulé les lois** est donnée par beaucoup de physiciens comme la seule méthode qui permette d'exposer rationnellement la Science de la Nature (...). C'est cette **méthode newtonienne** qui est **recommandée**, sinon **prescrite**, à ceux qui ont mission d'exposer la Physique dans l'**enseignement** secondaire. » (p. 305).

Or, pour Duhem,

« L'enseignement de la Physique par la méthode purement **inductive**, telle que l'a **définie Newton**, est une **chimère**. Celui qui prétend saisir cette **chimère se leurre et leurre ses élèves**. » (p. 309).

---

<sup>304</sup> Bert, P. et Blanchard, R. (1885). *Éléments de zoologie*, Masson.

Et dans une analyse menée un siècle plus tard, soit avec un siècle supplémentaire de pratiques dans les classes de sciences, Michel Blay (2006)<sup>305</sup>, philosophe, historien des sciences et directeur de recherches au CNRS, relie de même, de manière édifiante, l'*illusion méthodologique* qui perdure dans le monde de l'enseignement avec le mythe, forgé par Newton lui-même et entretenu depuis, de la "magie" de l'expérience pure, non mêlée d'idées anticipées, d'où tout s'extrait, illusion que seule l'étude du travail effectif des savants est à même de déconstruire.

Chimère, illusion, nées des sentences inscrites en latin par la plume nerveuse de Newton il y a trois siècles (1706, 1713), mots d'ordre repris en un *bannissons les hypothèses* qui aura aussi un retentissement puissant dans le domaine de l'enseignement.

Pierre Duhem critique la conférence de l'un des responsables de la réforme de l'enseignement des sciences de 1902, l'inspecteur général Jules Joubert (1903), tandis que Michel Blay se réfère aux propos de son collègue l'inspecteur général Lucien Poincaré (1904). Tous deux ont présenté la réforme dans une tournée de conférences en province, avant d'en organiser à Paris.

Joubert explique :

« (...) les procédés de la physique mathématique sont **défectueux** dans l'enseignement secondaire [car] ils consistent à **partir d'hypothèses** (...) posées *a priori* pour en tirer des **déductions** qui seront soumises au **contrôle de l'expérience** ». (Hulin, 2000, p. 56).

Il faut, selon lui,

« adopter la **vraie méthode** des sciences physiques, la méthode **inductive** » (*id.*).

C'est un moment important car, comme le signalent Nicole Hulin et les auteurs de l'ouvrage collectif (2000) qu'elle dirige sur cette réforme, ces considérations méthodologiques se feront sentir jusqu'aux temps présents, par exemple lorsque s'y réfèrent de manière élogieuse le président de l'Union des physiciens en 1945 (p. 13-14), et relevant (p. 19) le "même type de discours" dans le *Rapport Bergé* de 1989, selon lequel « on doit privilégier la méthode inductive », comme le souligne également Michel Blay (2006).

« Les programmes définis en 1902 et la **méthode d'enseignement** de la physique vont ainsi **marquer longtemps l'enseignement** secondaire français » (Hulin, 2000, p. 14).

La **méthode inductive** est portée aux nues par ces programmes :

« Avec la réforme de 1902 un changement profond est apporté au mode d'enseignement de la physique et les recommandations insistent sur l'emploi de la **méthode inductive** en l'opposant à la méthode pratiquée au XIX<sup>e</sup> siècle et qualifiée de dogmatique et déductive. »

« Ce discours en faveur de la **méthode inductive** (...) est fortement **repris dans les rapports des inspecteurs**, rapports largement **diffusés** dans les **revues** s'adressant aux enseignants ».

« Cette recommandation de la **méthode inductive** jointe à l'insistance sur le caractère expérimental de la physique constitue un **élément récurrent du discours sur l'enseignement de la physique au XX<sup>e</sup> siècle**. » (Hulin, 2000, p. 72, 73 et 82-83).

À la même époque, Duhem ne se contentait pas de critiquer, il indiquait ce qui conviendrait, selon lui, à l'enseignement des sciences, et les historiens des sciences ne se penchant pas souvent sur l'enseignement, cela mérite d'être considéré avec attention :

---

<sup>305</sup> Blay, M. (2006). Concepts, faits scientifiques et théories, *Raison Présente* n°157-158, décembre 2006.

« Le maître (...) devra se contenter de formuler, tout d'abord, un certain groupe, plus ou moins étendu, d'**hypothèses**, d'en **déduire** un certain nombre de **conséquences** qu'il soumettra, sans plus tarder, au **contrôle** des faits. » (1906, p. 392).

« La théorie demande à l'observation de **soumettre** quelqu'une de ses conséquences **au contrôle des faits** ; l'observation suggère à la théorie de **modifier une hypothèse ancienne** ou d'**énoncer une hypothèse nouvelle**. » (1906, p. 406).

On voit à la fois qu'il oppose une démarche hypothético-déductive à la démarche inductive, et que c'est le "maître" qui décide de tout et fait tout devant les élèves, ce qui, quelle que soit la démarche, n'est pas rare à cette époque.

Mais l'enseignement moderne des sciences va prendre la voie inductive, s'établissant donc sur une base *newtonienne*, dont on peut dire, en même temps, qu'elle est *anticartésienne*, ce que fait bien sentir cette sentence de Jean-Baptiste Dumas, datant des instructions de 1854, reprise, significativement, par la commission de réforme de 1890, et qui sonne comme un critique de la raison pure :

« L'homme n'a pas inventé la physique ; **il a saisi des observations données par le hasard** ; il en a varié les conditions, et il en a **déduit les conséquences**.

Persuader aux jeunes gens que l'esprit humain pouvait se passer du fait qui sert de base à chaque découverte importante, qu'il pouvait **créer la science par le raisonnement seul**, c'est préparer au pays une jeunesse **orgueilleuse et stérile**. »<sup>306</sup>

L'analyse de Michel Blay (2006) relie les discours inductivistes tenus aux enseignants de Physique en 1904 à ceux qu'on entend encore jusqu'au moins en 1989, tandis que nous avons vu qu'ils sont présents jusque dans les années 1960 pour ceux de SVT, même si s'y mêlent des remarques sur l'hypothèse qui finiront par occuper, dans les textes officiels, une place bien plus importante que dans les classes.

« Commençons par une ritournelle : la science repose à la fois sur les **faits**, reconnus et constatés par l'**observation**, et sur l'**induction** qui consiste à **remonter** des faits aux lois et aux théories. »

« Ritournelle bien sûr », poursuit Michel Blay, puisqu'on retrouve ces propos en 1904 chez Lucien Poincaré comme en 1989 dans le *Rapport Bergé* :

« D'un texte officiel à l'autre, il apparaît donc que les **faits** constituent comme une base, un fondement, comme ce qui est de l'ordre du donné et du certain ; de ce, à partir de quoi, il devient possible **par induction - sorte d'opération magique** - de construire la théorie ou, plus modestement, sans trop de rigueur, de modéliser. Après un siècle, donc, de **recherches historiques, d'analyses épistémologiques et philosophiques**, les mêmes thèses sont énoncées sans le moindre souci critique et avec la même indigence conceptuelle ; c'est à désespérer ou à se croire entouré de perroquets. » (M. Blay, 2006).

La responsabilité de Newton, dans cette illusion méthodologique, est alors mise en lumière : sa célèbre lettre de 1672 au secrétaire de la *Royal Society* est, nous l'avons vu (partie 1.2.6.2.), une présentation arrangée de ses travaux antérieurs, alors que nombreux sont les manuels scolaires ou les ouvrages de vulgarisation qui présentent Newton tenant son prisme et faisant apparaître les couleurs comme le point de départ de sa théorie.

Une vision entretenue par des ouvrages savants :

« Cette image culminera au début du XXe siècle avec la publication en 1908 de l'ouvrage de Léon Bloch, *La philosophie de Newton* où l'histoire, comme d'ailleurs dans *La mécanique - Exposé historique et critique de son développement* d'Ernst Mach publié en français en 1904, est réécrite en s'appuyant **sur une idée de ce que doit être la démarche scientifique** du point de vue de la philosophie des sciences sans s'attacher à étudier le travail

---

<sup>306</sup> Cité in Le Bon, G. (1910). *Psychologie de l'éducation*, Flammarion, p. 247.

effectif du ou des savants. Ainsi se crée une **illusion méthodologique** peu propice à une meilleure connaissance des processus **créatifs et cognitifs** associés à la démarche scientifique. » (M. Blay, 2006).

Cette image résiste peu à une analyse historique plus approfondie :

« d'une part **nous possédons les manuscrits de Newton** retraçant les étapes de son élaboration théorique et, d'autre part, la seule lecture, un peu rapide, des textes imprimés de Newton et cela jusqu'aux années 1960, avait conduit la plupart des interprètes à faire de Newton l'un des "père" du positivisme, celui qui lisait directement les lois de la nature dans l'observation, **sans hypothèse**, sans métaphysique et sans la moindre opacité ; or, **il est loin d'en être ainsi !** » (M. Blay, 2006).

La force de l'illusion méthodologique perdure cependant.

Les orateurs de 1904-1905 n'y sont pas pour rien. Ils nous fournissent des textes qui révèlent l'état de l'enseignement en général et de celui des sciences en particulier au début du XX<sup>e</sup> siècle (textes rapportés dans deux ouvrages édités par Nicole Hulin, en 2000 pour la physique et en 2002 pour les sciences naturelles). La formation littéraire classique domine toujours, cultivant "l'esprit d'idéal", et les "sciences" sont surtout représentées par les mathématiques, abstraites et déductives.

La mise en avant du côté pratique des sciences expérimentales a conduit à ce que la physique soit essentiellement présentée sous la forme d'un défilé impressionnant d'appareils, ceux qui servent à établir les lois, dont le fonctionnement est décrit. Pour les sciences naturelles, c'est encore la dénomination d'*histoire naturelle* qui prévaut, ce qui est conforme à la réalité en classe : on passe beaucoup de temps sur les *classifications*.

Pour le reste, le professeur parle, et, souvent, dicte, sans aucune participation des élèves, sauf pour répéter du cours par écrit ou par oral.

Les orateurs vont tous s'élever contre l'enseignement dogmatique et verbal, prôner le concret et, pour certains, avancer une caution philosophique ou épistémologique à la réforme. Ces conférences matérialisent alors une rencontre appuyée entre la *pédagogie de la leçon de choses* issue du primaire, où elle a maintenant plus de 20 ans de service, et la *philosophie de l'induction*, qui a trois siècles.

Sur ce plan philosophique, les réformateurs de la III<sup>ème</sup> république auraient pu reconnaître leur dette philosophique vis-à-vis du sensualisme, Marie Pape-Carpantier voulant, comme Rousseau avant elle, qu'il n'y ait rien dans l'entendement qui n'ait été auparavant dans les sens, ainsi que le professait Condillac. Mais ils n'en firent rien :

« [ils] ont massivement refusé de recourir à la philosophie qui aurait pu paraître la plus naturellement disposée à fournir à ces thèses un fondement théorique : à savoir le sensualisme, entendu comme la philosophie (...) de Locke et de Condillac. »<sup>307</sup>

Les raisons en étant notamment, selon Pierre Kahn, que la thèse sensualiste suppose une passivité de l'esprit, alors que la thèse majeure de la rénovation pédagogique est celle de l'activité de l'enfant.

C'est à une autre rencontre philosophique, qui n'exclut pas la précédente, même inavouée, que Ferdinand Péchoutre, professeur au lycée Louis-le-Grand et conférencier en 1905, invite son auditoire, plaçant côte à côte les portraits des philosophes et ceux des pédagogues, les premiers inspirant les seconds. Bacon a droit à la place d'honneur :

---

<sup>307</sup> Kahn, P. (2006). « Philosophie et pédagogie : la question du sensualisme », in Denis, D. et Kahn, P. (2006), *L'Ecole de la Troisième République en questions*, Peter Lang, p. 93.

« c'est surtout Bacon qui a réagi avec le plus d'énergie contre la méthode scolastique et qui a proposé pour la première fois (...) l'étude concrète de la réalité ».

Pour celui-ci,

« il est possible de faire suivre à l'enfant (...) la méthode que suit le savant. (...) À partir de ce moment, et sans parler de **Comenius, qui n'est que son interprète**, tous les grands pédagogues ont reflété plus ou moins l'inspiration baconienne. »

Rousseau et Diderot sont alors rangés sous la bannière du Chancelier, tandis que Pestalozzi et Fröbel en sont les continuateurs pédagogiques. Le conférencier en vient alors au philosophe, sociologue et évolutionniste Herbert Spencer (1820-1903) : il va reprendre textuellement les phrases de son livre *De l'éducation intellectuelle, morale et physique* (1861) dont la traduction française est parue en 1880, dans une "édition populaire" chapeautée par une commission du Ministère de l'Instruction Publique :

« (...) aucun ouvrage ne mériterait mieux que celui-ci d'être signalé à l'attention des instituteurs. (...) ces fragments contiennent, sous une forme vive et originale, l'esquisse d'une philosophie de l'éducation » (1880, préface).

Par "cette édition spéciale",

« L'administration (...) désirait pouvoir mettre cet ouvrage à la portée d'un très grand nombre d'instituteurs ». (*Id.*).

On remarque ici que le livre de Spencer, qui fait une apologie de la **leçon de choses** et que le ministère fait traduire à l'intention des instituteurs, est aussi celui qui sert de fondement à ce discours tenu aux enseignants du secondaire. Les mots soulignés dans l'extrait suivant de la conférence de Péchoutre sont ceux de Spencer lui-même (1861, trad. 1880, p. 91) :

« Spencer, proclamant bien haut l'utilité de l'étude des **objets sensibles** et la valeur des **leçons de choses**, non seulement des **leçons de choses** réservées à la **première période de l'enfance** et **bornées aux objets de la maison**, mais encore des **leçons de choses étendues** aux corps naturels et **continué dans la jeunesse, de telle sorte qu'elles en viennent insensiblement à se fondre avec les investigations du naturaliste**. Ainsi, chez tous ces éducateurs, sous des formes multiples, toujours la même pensée, l'étude de la nature comme objet et **l'intuition comme méthode : frapper d'abord les yeux** de l'enfant, faire **entrer l'entendement par les yeux**, faire **éclore l'entendement de la sensation**. »  
(F. Péchoutre, 1905, in Hulin, 2002, p. 288-289).

Spencer poursuit en préconisant d'amener l'enfant à "l'examen complet des qualités" :

« Y a-t-il un plaisir plus vif que celui de l'enfant qui cueille une fleur nouvelle, qui ramasse un insecte inconnu, ou qui rassemble des cailloux ou des coquillages ? (...) Un disciple de Bacon, conséquent avec lui-même, "serviteur et interprète de la nature", comprendra qu'il doit modestement suivre les indications qui lui sont ainsi données. ». (1861, p. 91).

On peut noter que lorsque le grand pédagogue John Dewey critiquera la leçon de choses en 1909, il le fera en utilisant presque les mêmes termes :

« (...) c'est la même méthode d'observer qu'on applique à des feuilles, des pierres, des insectes » (1909b, p.254).

Ainsi, cette conférence, faite en 1905 aux professeurs du secondaire au moment où l'enseignement des sciences y est profondément renouvelé, marque à la fois, pour la méthodologie :  
- sa filiation avec la leçon de choses qui règne dans le primaire depuis 1882, et remonte en effet "à la première période de l'enfance" à partir de laquelle Marie Pape-Carpantier a promu son exportation en 1867,

- son enracinement, plus en amont, chez les pédagogues et, au-delà encore, chez les philosophes avec Bacon, qui a commencé à définir les contours de sa méthode exactement trois siècles auparavant (1605),
- sa rencontre, sa fusion même, avec la démarche considérée comme étant celle suivie par le savant lors des “investigations du naturaliste”,
- enfin, sa caractéristique majeure, l’observation comme point de départ, et l’observation capable, par la sensation, de *faire entrer* et de *faire éclore* l’entendement : *voir pour comprendre*.

L’orateur pense parfaire cet ensemble en en appelant, puisqu’il s’agit de méthode, à Claude Bernard, dont il cite un passage sur l’observation : plusieurs voix officielles se réfèrent à cette époque à celui-ci ou à la méthode expérimentale, nous y reviendrons.

Le ministre, présentant la réforme, vante le devoir de “stimuler l’initiative individuelle”, l’intérêt de “la formation des esprits” (Hulin, 2002, p. 224). Le vice-recteur Liard attribue spécialement aux sciences ce devoir, parlant d’“humanités scientifiques”, comme on disait, pour les lettres, “faire ses humanités”.

Mais, d’une manière relativement comparable à la situation actuelle, on peine à trouver trace de ces nobles objectifs dans les programmes eux-mêmes, par exemple en sciences naturelles :

- « 6<sup>e</sup> A. *Zoologie* - Le professeur **se bornera à préciser les caractères** et les mœurs des animaux (...), il **ajoutera des notions** sur la façon de [les] capturer.  
(...) Poissons. – Principaux poissons alimentaires.
- « 5<sup>e</sup> A. *Botanique* - Le professeur devra toujours faire porter **ses explications** soit sur des échantillons de plantes mis entre les mains des élèves, soit sur des planches ou des dessins tracés au tableau (...). »
- « 3<sup>e</sup> B. Dans ce cours, le professeur, tout en **exposant** dans leurs grands traits les diverses fonctions, **fera connaître** des données biologiques indispensables à l’homme pour assurer son alimentation et son hygiène : chasse, pêche, domestication et dressage des animaux (...). »

La lecture du programme montre bien que ce qui est prévu, ce sont des notions exposées par le professeur, partant d’observations ou de manipulations demandées aux élèves.

On vise depuis longtemps, pour la jeunesse privilégiée française qui peut poursuivre ses études au lycée, à former “une aristocratie d’esprit” comme dit le ministre Leygues, une culture de classe qui saura se reconnaître dans le maniement du latin et la fréquentation des grandes œuvres classiques. Les mathématiques, autre gloire du “génie français” avec notamment Descartes, “subissent une crise d’idéalisme transcendantal”, rapporte le vice-recteur, et dans le secondaire, où son enseignement commence par des définitions abstraites, beaucoup d’élèves se retrouvent “déconcertés dès le premier jour, et n’apercevant aucune liaison entre les mathématiques et la réalité”.

Aussi les sciences, auxquelles on fait une place plus ample, vont-elles constituer un bon contrepois à ces cogitations, et l’aspect concret que présente leur enseignement dans le primaire va être fort bien accueilli.

Louis Liard s’étend sur des considérations épistémologiques. Il déclare que les sciences étaient jusqu’alors enseignées déductivement, comme les mathématiques :

- « Par leur mode d’exposition, d’expérimentales et **inductives** qu’elles sont, on en faisait des sciences à **allure déductive**, on énonçait d’abord la loi, comme on énonce un théorème, puis on en donnait la **démonstration** (...). Le fait n’apparaissait qu’ensuite, quand il apparaissait, comme une illustration et **non comme la source** de la loi (...). Or, les sciences expérimentales **procèdent juste à l’inverse**. »

Vient ensuite une charge anticartésienne :

« Plus les esprits de notre race [sic] sont enclins à **s'élever par bonds** aux généralités les plus hautes pour traiter ensuite **déductivement** de toutes choses, plus il importe de leur inculquer, dans le jeune âge, un **sens exact des réalités** (...).

Il fallait donc que l'enseignement des sciences physiques devint **expérimental** et **inductif**, qu'il fit d'abord appel **aux faits** et qu'il habituât peu à peu l'élève à voir de lui-même **comment des faits sortent les lois**. »

Selon lui, Les Français cartésiens, contrairement aux Anglais baconiens ou newtoniens, ont une tendance innée à partir dans les sphères de la spéculation : mais Descartes a perdu, et il est temps d'ancrer au sol la pensée de la jeunesse.

Que les lois sortent des faits par induction, c'est ce contre quoi s'élève Pierre Duhem (1906, p. 402-404), prenant ses exemples dans une série de faits communs d'époque :

« il est très vrai et très certain qu'une voiture non attelée n'avance pas, qu'attelée de deux chevaux, elle marche plus vite qu'attelée d'un seul cheval. (...) Bien loin qu'on puisse **tirer** la Dynamique des lois que le sens commun a connues **en regardant** rouler une voiture tirée par un cheval, toutes les ressources de la Dynamique **suffisent à peine** à nous donner une image très simplifiée du mouvement de cette voiture. »

Pierre Kahn résume l'aspect méthodologique des conférences de 1905 (sciences naturelles) :

« la méthode de la science est **inductive**, le consensus des intervenants est sur ce point massif. Il faudra donc dans son enseignement aussi procéder inductivement, faire dégager des lois à partir d'observations que les professeurs doivent toujours en premier lieu solliciter auprès de leurs élèves. » (2002b, p. 86).

Ce qui est aussi ce que relève Gabriel Gohau : « l'**induction** est omniprésente » (*id.*, p. 180).

Les programmes mis en place par la même réforme en physique prônent aussi la méthode inductive.

Les instructions de 1909, qui apportent des compléments, sont claires sur ce point :

« Ces expériences doivent d'ailleurs, autant que faire se pourra, être placées au début de l'exposition. Il importe, au plus haut point, d'habituer les élèves à voir d'eux-mêmes comment **des faits sortent les lois**. »

La suite du texte insiste sur la démarcation d'avec les mathématiques :

« Les sciences physiques sont, dans leur essence, **inductives** et l'on **ne doit pas** les enseigner de manière **déductive**, comme les **mathématiques**, si l'on veut leur conserver leur caractère éducatif propre (...). Le **fait** doit apparaître, non comme une illustration, mais bien comme **la source même de la loi** qui ne se démontre pas à la manière d'un théorème. »

Le ralliement sous l'étendard inductiviste est conforté par le besoin de se démarquer de l'enseignement dominateur des mathématiques, comme au temps de J.-B. Dumas, et de revendiquer, en contrepoint, une spécificité méthodologique qui sonne comme une proclamation d'indépendance et d'apport culturel autre :

« (...) l'idéal de certains maîtres, paraissait être de donner aux choses, par des procédés artificiels, une fausse apparence mathématique qu'elles ne comportent pas dans la réalité. (...) On a donc demandé aux maîtres, à tous les degrés, de faire des expériences, on leur a demandé d'en faire **beaucoup eux-mêmes** et d'en **faire exécuter** à leurs élèves. » (L. Poincaré *in* Hulin, 2000, p. 274-275).

Certaines discordances méritent aussi d'être mentionnées : Henri Bouasse, figure de la physique de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, interpelle ainsi les enseignants en 1913, dans un texte intitulé "Du rôle pédagogique des expériences et des manipulations" :

« qu'ils donnent enfin à l'expérience sa place **éminente, mais subordonnée**. »<sup>308</sup>

---

<sup>308</sup> Bouasse, H. (1913). *Thermodynamique. Principes généraux. Gaz et vapeurs*, Delagrave, p. xx.

Ou encore :

« À défaut d'idées, une des marottes de Joubert et de Poincaré était que les élèves doivent monter **eux-mêmes les expériences**, sous le prétexte que c'est la méthode par excellence pour apprendre à découvrir. »<sup>309</sup>

### Étrange “méthode expérimentale”.

F. Péchoutre en 1905, après Bacon et le très baconien Spencer de la leçon de choses, se réfère à Claude Bernard, et réduit sa démarche expérimentale à celle d'observation et d'induction telle que Spencer la prône. Herbert Spencer, en effet, qui en 1903 vient juste de disparaître, construit son imposante œuvre selon un ordre de volumes dont les titres mêmes reflètent son inductivisme : d'abord *the Data of...* (les données de... la biologie, la psychologie, la sociologie, l'éthique), puis *the Inductions of...*, menant aux “lois” du domaine traité. Pour lui,

« il faut procéder de l'**empirique** au rationnel, (...) arriver à l'abstrait par la voie du **concret** (...), une expérience répétée et des généralisations **empiriques** doivent exister avant que la science puisse être (...). Toute étude doit avoir des commencements **purement expérimentaux** » ; « de la puissance d'**observation** dépend le succès en toutes choses », choses qui “**portent en elles-mêmes leurs lois**”. Et « on apprend maintenant souvent la table de multiplication **par la méthode expérimentale** »<sup>310</sup>.

Cette dernière affirmation laissant songeur sur le sens du terme.

F. Péchoutre présente cependant correctement la méthode expérimentale de Claude Bernard, lorsqu'il indique que la seule signification de l'expérience est “de servir de contrôle à une idée fournie par l'observation”. Mais bientôt Péchoutre escamote la notion de contrôle :

« Notre enseignement doit donc proposer, en premier lieu, d'apprendre à l'enfant l'art d'obtenir **des faits** exacts au moyen d'une investigation intelligente, l'art d'**observer** avec précision. (...) On doit donc **laisser de côté les abstractions**, jusqu'à ce que l'esprit soit familiarisé avec les faits. Lorsque les faits sont bien connus, bien assis, leur **comparaison** s'impose naturellement à l'esprit de l'enfant. Et c'est alors qu'avec prudence, nous devons nous élever à la **troisième opération** de l'esprit, à la **généralisation**. » (*in* Hulin, 2002, p. 191).

Cette élévation prudente correspond bien à la “première vendange” de Bacon, et un Claude Bernard lu avec des lunettes empiristes a été rallié à la cause inductiviste.

Une autre conférence de 1905, justement, s'intitule “Les méthodes d'enseignement des sciences expérimentales”, et est faite par un inspecteur général (Lucien Poincaré), qui se dit “profondément pénétré de cette idée qu'aucun sujet n'est plus grave pour l'éducateur que les questions de méthode”. C'est aussi une méthode **inductive** partant d'observations qu'il prône, mais parle aussi de la “**méthode expérimentale bien comprise**” qui est, dit-il d'une manière assez énigmatique,

« une école d'imagination réglée, car elle doit enseigner à manier l'induction scientifique et, par conséquent, à construire une **hypothèse** ; l'hypothèse est un **moment nécessaire** de cette méthode. »

Or, quoi que puisse être une imagination *réglée*, le “rôle créateur de l'hypothèse” est signalé. Mais, finissant sur l'intérêt des sorties dans la nature ou à “l'usine qui est au voisinage de l'école”, on peut rester perplexé lorsque l'inspecteur général déclare :

« N'est-ce pas à **l'usine** que l'on trouvera une application complète de la **méthode expérimentale** ? » (*In* Hulin, 2000, p. 283).

---

<sup>309</sup> Bouasse, H. (1921). « Des manipulations et du dessin pédagogique », *in* *Théorie des vecteurs, cinématique, mécanismes*, Delagrave, p. VIII.

<sup>310</sup> Spencer, H. (1861). *De l'éducation intellectuelle, morale et physique*, Baillière, 1880, respectivement p. 80, 61, 66, 58.

On a en effet du mal à se figurer quelle hypothèse créative va être émise par l'ouvrier de l'usine.

On se rend aussi compte des limites de cette “**méthode expérimentale**” quand L. Poincaré déclare (*id.*, p. 276) qu'il souhaite que des phénomènes soient “étudiés expérimentalement” avec du matériel non coûteux :

« une allumette, qui frottée sur la boîte nous démontre (...) que le frottement dégage de la chaleur ».

Quelle hypothèse viendrait donc tester cette “étude expérimentale” qui *démontre* ? Le rôle de l'expérience est mieux visible peu après (p. 277) :

« Apprenons-leur aussi que la véritable expérience, la seule qui conduise à des résultats définitifs, n'est pas une simple expérience de démonstration ».

Serait-ce alors, conformément au discours théorique, une expérience de mise à l'épreuve ? Non :

« pas une simple expérience de démonstration, purement qualitative, mais bien celle qui est quantitative ».

La “véritable expérience” est donc une expérience de démonstration, mais quantitative.

Un « Rapport sur l'enseignement des sciences physiques et naturelles »<sup>311</sup> établi en 1909 est révélateur : la réforme de 1902, y écrit son auteur (M. Chassagny), a ramené l'enseignement de la physique à “la méthode purement expérimentale”. Mais il poursuit :

« Les professeurs durent **s'ingénier** (...) à **établir** avec des ressources très limitées des séries de manipulations qui, dès l'abord, **captivèrent** leurs élèves. »

Dans la “**méthode purement expérimentale**”, les expériences sont donc établies par un professeur ingénieux et présentées aux élèves, que ce soit eux qui les exécutent ou non.

Sous des textes qui ne concernent pas directement la méthode mais d'autres aspects (rejet des mathématiques, ressources limitées, importance du quantitatif...) perçoit le rôle réellement dévolu aux expériences par ceux qui se réclament avec emphase de la “**méthode expérimentale**”...

Ces programmes de physique (arrêté du 31 mai 1902) énoncent, pour l'essentiel, une liste de sujets d'étude, sans commentaires (force, centre de gravité, pression...), mais donnent aussi des conseils généraux :

« Le professeur se contentera d'**exposer** les **faits** tels que nous les comprenons aujourd'hui (...). L'enseignement (...) doit toujours être fondé sur des expériences. Mais pour ses **démonstrations** expérimentales, le professeur emploiera le moins possible des appareils compliqués ; il cherchera à **les réaliser** avec les moyens les plus simples ».

On voit qu'il s'agit d'*expositions*, de *démonstrations*, que le professeur est celui qui les *réalise*. Parfois, des précisions sur les activités sont révélatrices sur les démarches attendues :

« Démonstration expérimentale de la propagation d'un mouvement vibratoire ».  
« Vérifier le principe d'Archimède ».  
« Répéter l'expérience de Torricelli ».

On imagine mal les élèves émettre des *hypothèses* quand ils vérifient ce qu'a énoncé Archimède ou répètent ce qu'a fait Torricelli.

---

<sup>311</sup> *La Revue de l'enseignement des sciences*, n°33, mars 1910, p. 152-159, cité in Hulin, 2000, p. 68.

L'idée qu'on se fait de la méthode expérimentale dans le milieu enseignant à la fin du XIX<sup>e</sup> et au début du XX<sup>e</sup> siècle est apparente dans les deux éditions du célèbre *Dictionnaire de pédagogie et d'instruction primaire* de Ferdinand Buisson, 1887 et 1911 : une vingtaine ou une cinquantaine d'années après l'*Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* de Claude Bernard, la "méthode expérimentale" n'intègre toujours pas d'hypothèse et est purement inductive. Et l'influence de son dictionnaire et de Buisson lui-même fut considérable puisque, inspecteur du primaire puis inspecteur général, il fut appelé par Jules Ferry à la direction de l'Enseignement Primaire en 1879 et le resta jusqu'en 1896, et professe à la chaire des sciences de l'éducation de la Sorbonne de 1890 à 1902.

Pour les trois entrées citées ici (*Expérience, expérimentale (Méthode)*; *Expériences* et *Observation*), une comparaison des deux éditions de ce dictionnaire, à la recherche d'éventuelles modifications, nuances ou rectifications à 24 ans de distance donne un résultat net : aucune.

On y parle d'ailleurs, dans les deux éditions, de "la méthode expérimentale ou d'induction" (1887, p. 1132).

L'entrée *Expérience, expérimentale (Méthode)* est rédigée par Gabriel Compayré, philosophe, collaborateur de Jules Ferry et historien de l'éducation :

« On sait quels services a rendus à la science la substitution de **la méthode expérimentale** à la méthode du raisonnement pur et de l'hypothèse abstraite. Les sciences de la nature n'existent véritablement que depuis le jour où la **logique expérimentale de Bacon**, rompant avec les vieilles traditions du syllogisme, a consacré une révolution que quelques savants du seizième siècle avaient déjà préparée, depuis que les penseurs se sont décidés à **observer**, à **expérimenter** et à **induire** patiemment **des faits** observés **les lois** qui les dominent. »

Avant même d'aller plus loin dans la présentation de la méthode expérimentale, Compayré affirme qu'elle peut être "transportée dans la pédagogie", comme l'a fait Comenius.

« Selon Comenius, pour développer l'esprit d'un enfant et le meubler des connaissances nécessaires, **il faut lui présenter des faits dont il dégagera lui-même la règle abstraite** ; il faut s'abstenir le plus possible de la méthode didactique qui impose des vérités toutes faites (...). En d'autres termes, l'enfant **observera et expérimentera avant toutes choses** : il réfléchira, il définira, il raisonnera ensuite. C'est bien là, si nous ne nous trompons, une application rigoureuse de la **méthode expérimentale** ».

« **Les leçons de choses**, qui ont surtout pour domaine la physique et les sciences naturelles, ne sont, avec leur présentation d'objets sensibles, avec leurs interrogations qui provoquent le jugement, qu'**une forme pédagogique de la méthode expérimentale**. »

« Mais ce n'est pas seulement dans l'éducation intellectuelle, c'est aussi dans l'éducation morale que la **méthode expérimentale** peut être efficacement employée. (...) La vraie méthode consiste à présenter à l'enfant des faits ou des récits, récits historiques ou fictifs, **en lui laissant le soin d'en dégager une idée morale**. »

« Il n'est donc pas contestable que la **méthode expérimentale** a sa place dans l'enseignement et dans l'éducation comme dans la recherche scientifique. Le mal serait seulement de lui accorder une importance exclusive, et d'oublier le rôle qui appartient aussi à la **méthode opposée**, à celle qui donne des **leçons directes** ».

**Telle est donc la méthode expérimentale** : tout procédé qui substitue à la parole du maître celle des choses, et permet à l'élève d'*extraire* des "vérités" de ce qu'on lui présente. Elles sont dictées par les faits observés au lieu de l'être par le professeur. Que celui-ci fasse un choix judicieux des choses montrées, et l'induction fera le reste.

L'entrée *Expériences* est elle aussi significative. Anonyme en 1911, elle est identique à celle de 1887, qui porte la prestigieuse signature de l'Inspecteur général qui fut rien moins que le prédécesseur de Buisson à la direction de l'enseignement primaire (Augustin Boutan). Et il nous réserve la bonne surprise de décrire une séquence de classe exemplaire.

On y lit :

« Un enseignement scientifique élémentaire n'a de valeur qu'autant qu'il se transforme en un enseignement *par les yeux*. »

Au primaire,

« pour l'enseignement des sciences physiques et naturelles, (...) le maître ne sera compris de ses élèves qu'autant qu'il placera **sous leurs yeux** les **objets** dont il leur parle », à défaut il en montre un dessin et sinon il les dessine au tableau. Pour ceux qui poursuivent au Primaire Supérieur, « l'enseignement donné doit y être **tout autre**. **La leçon de choses** ne suffit plus, ou du moins elle **doit se transformer**. On s'adresse à des enfants de **douze à treize ans** dont la curiosité a déjà été éveillée, dont l'esprit d'observation a été mis en jeu. La physique, la chimie et l'histoire naturelle **réduites à la partie descriptive** ne satisfont **plus** l'esprit de l'auditeur. »

C'est dire que cela suffisait à tout l'enseignement primaire, jusqu'à onze ans.

« Le maître est cette fois conduit à donner à l'élève des explications raisonnées sur les phénomènes naturels ; et il ne le peut avec succès qu'en recourant à un **nouveau** procédé de démonstration, en recourant aux **expériences**. Quand on se sert de quelques objets pris dans le musée scolaire pour rendre la leçon plus intéressante ou plus instructive, l'enfant ne voit guère que les caractères extérieurs des corps qu'on lui présente ; mais s'il est un peu avancé, son esprit va au-delà. Il se demande si ces substances qu'on **met sous ses yeux** se conservent telles quelles quand on les chauffe ».

On se demande, vraiment, quel enfant aurait comme première idée, voyant un objet, de se poser cette question. Souvenons-nous de ce dont ils parlaient d'abord selon Marie Pape-Carpantier en 1867 : couleur, forme etc., et la matière ou l'usage venaient sans qu'apparaisse la résistance à la chaleur, il est heureux que leurs élèves n'aient pas été intervertis.

L'inspecteur général en vient alors à un exemple, et il est suffisamment rare de pouvoir se pencher sur des éléments précis qui puissent dissiper les ambiguïtés pour s'en priver. Cela nous permet donc de nous retrouver dans une classe idéale de 1887, identique en 1911 :

« Prenons un exemple : le professeur doit aujourd'hui **parler** à ses élèves **de la dilatation des corps** par la chaleur. »

Ce qui, avouons-le, tombe rudement bien vu leur question.

« Va-t-il leur dire tout d'abord le sens précis des mots *dilatation, coefficient de dilatation* ? Va-t-il énoncer, dès le commencement de la leçon, les lois générales de ce phénomène ? Non, mille fois non. L'élève qui entend parler de tout cela pour la première fois ne retiendrait que des mots et n'aurait acquis aucune idée nouvelle ; mais, au lieu de procéder ainsi, exécutez devant lui **l'expérience** très simple que voici : Une tige de fer posée au fond d'une cuve (...). Au début de l'expérience, l'aiguille correspond au zéro du cadran ; à ce moment, versez de l'eau bouillante dans la cuve. Aussitôt l'aiguille se mettra en mouvement, indiquant ainsi que l'extrémité libre de la tige de fer s'est déplacée. **Demandez alors à l'enfant quelle est la conclusion qu'il tire de cette expérience**. Elle prouve, vous répondra-t-il, que le fer s'allonge quand on le chauffe. »

Voilà donc la démarche de la leçon : l'élève, placé devant un appareil destiné à mesurer la longueur d'une tige de fer, constate que la tige s'allonge quand on la chauffe, et on attend qu'il dise que la tige s'allonge quand on la chauffe, mieux : que c'est le fer qui le fait.

« Une seconde question se présentera naturellement à son esprit ; et, si elle ne se présentait pas, le maître la ferait naître par des remarques convenablement choisies. La propriété d'allongement par la chaleur est-elle spéciale au fer ? **Le maître aura recours** alors à une **seconde expérience** : il substituera successivement dans le pyromètre à cadran, à la tige de fer, des tiges de même longueur de cuivre, d'étain et de zinc, et il reproduira

chaque fois, dans les mêmes conditions, l'expérience que nous venons de décrire. L'élève **constatera** alors deux faits nouveaux :

1° La faculté de s'allonger par la chaleur appartient à **tous** les métaux ;

2° Toutes les autres conditions restant les mêmes, la grandeur de l'allongement varie d'un métal à l'autre ».

Le “constat” n°1 résulte d'une induction, d'ailleurs audacieuse et le début du “constat” n°2 est très probablement une remarque du maître.

« Demandez alors à l'enfant s'il estime que la question a reçu, par le fait des précédentes expériences, une solution complète. Dans le cas où il donnerait une réponse affirmative trop prompte, vous l'amèneriez facilement à remarquer qu'il reste encore un point à élucider. L'accroissement d'un métal, quand on le chauffe, s'est effectué dans le sens de la longueur. Voilà ce que l'expérience du pyromètre à cadran a montré ; mais cet accroissement se manifeste-t-il aussi suivant les autres dimensions ? Vous **tâchez de lui faire comprendre** qu'étant donnée l'homogénéité parfaite de structure du métal, il est **probable** que la chaleur agit également dans tous les sens ».

Notons que, au cas où l'élève s'interrogerait sur l'augmentation éventuelle de volume, le maître ne prévoit pas de lui laisser dire lui-même ce qu'il estime probable, qui serait alors une hypothèse : on lui fait comprendre ce qui est probable. Le fin du fin est peut-être qu'après avoir entraîné l'adhésion des élèves sur cette probabilité, le maître va montrer que l'expérience la réfute ? Suspense.

« Une expérience complémentaire ne sera pas inutile. Vous aurez **recours alors** au petit appareil connu partout sous le nom *d'anneau de S'Gravesande* ».

Et bien sûr le “probable” est validé.

« En résumé, vous aurez amené l'élève pas à pas, à l'aide d'une **méthode expérimentale rigoureuse**, à formuler les conclusions suivantes dont la démonstration ne laissera plus aucun doute dans son esprit ».

« La plupart des questions de physique et de chimie peuvent être traitées de la même façon. Remarquons toutefois que ces expériences que nous venons de décrire, et que l'on peut nommer *expériences de démonstration*, ne sont pas les seules à utiliser dans l'enseignement. Les expériences *de vérification* sont aussi d'un emploi fréquent, et il est souvent avantageux d'y recourir. »

Il semble que nous nous rapprochions d'une méthode expérimentale, moins rigoureuse peut-être puisque ce qualificatif ne s'y étend pas, mais qui inclut quelque idée à vérifier.

« Vous venez de faire une leçon sur le principe d'Archimède ; vous l'avez **établi à l'aide d'expériences** bien coordonnées. Du principe **démonstré**, vous **déduisez** par un raisonnement simple cette conséquence immédiate (ce n'est au fond **qu'un autre énoncé de la même loi**), que le nombre qui exprime la perte de poids d'un corps dans l'eau exprime en même temps son volume en unités correspondantes. **C'est important à vérifier**. Or, rien n'est plus facile que de réaliser une expérience qui **prouve directement** la vérité de ce nouvel énoncé »

En effet, il y a une idée à vérifier : celle du maître, qu'il tient de cet Archimède. Et le maître vérifie, ou fait vérifier, ce qu'il a déduit lui-même !

« Telle est en définitive la part importante qui appartient aux expériences, [qui] doivent (à un degré variable, bien entendu) servir de point de départ et de mode de **démonstration** dans les leçons qui se rapportent aux sciences physiques et naturelles. **Plus rarement**, mais fort utilement quelquefois, elles fourniront aussi un mode utile de **vérification** des conséquences que le raisonnement a permis **de tirer des expériences** fondamentales. »

Cet exemple, qui nous paraît vraiment édifiant, est certes ancien, mais n'a cependant pas subi la moindre retouche en un quart de siècle, entre 1887 et 1911, et une “méthode expérimentale rigoureuse” de ce type n'est pas absente des classes du XXI<sup>e</sup> siècle. Elle entrerait en tout cas bien dans les attentes du “socle commun” de 2006 : “formuler une hypothèse et la valider”.

La lecture, dans ce même dictionnaire, de l'entrée *Observation* nous réserve une autre surprise, de taille cette fois. Son auteur, Alfred Espinas, se réfère explicitement à Claude Bernard :

« On a prétendu que l'observateur est passif en présence de la nature. Claude Bernard a bien montré la fausseté de cette opinion ».

« Une certaine direction de la **pensée** est pour l'observateur **la clef** des découvertes. Il y a de bons yeux qui ne voient pas, des oreilles délicates qui ne savent pas entendre. Que de phénomènes ont passé sous les yeux des hommes des millions de fois sans être remarqués ; combien d'autres, qui frapperont un jour tous les regards, sont encore pour nous comme s'ils n'existaient point, **faute** seulement **d'une idée** qui les signale ! (...) Un objet même assez restreint étant proposé à l'étude, si l'on n'est **pas averti de ce qu'il y faut chercher**, on ne saura rien y démêler de distinct. (...) comme ces manifestations diverses sont, en dehors d'une **idée** qui nous porte à remarquer l'une plutôt que l'autre, toutes sur le même plan, toutes échappent à la fois. »

« L'observation doit donc **toujours être éclairée par les prévisions** de l'observateur ; l'idée de la forme et du fait **possibles** nous rend **seule** perceptibles la forme et le fait **réels** ; il faut qu'une **attente** définie **de l'esprit** imprime aux sens une direction déterminée pour **que leur activité soit fructueuse**.

« On l'a très bien dit : le savant **qui ne sait pas ce qu'il cherche ne comprend pas ce qu'il trouve** ».

C'est de nouveau une référence à Claude Bernard, c'est même une citation extraite de son rapport de 1867 à Victor Duruy.

« (...) ou plutôt [il] ne trouve rien : trouver, c'est choisir, et choisir c'est discerner, c'est deviner ; pour tout dire, c'est déjà comprendre. Ce choix n'est possible que si l'on **suppose dès l'abord** que certains faits ont plus de valeur, offrent plus d'intérêt que d'autres. Beaucoup en effet sont **indifférents**. Ce sont **ceux qui ne servent ni à infirmer ni à soutenir** quelque **idée** préconçue. »

Une direction de la pensée, une idée qui signale, le fait d'être averti, une idée qui porte à remarquer, des prévisions, l'idée du fait possible, une attente de l'esprit, l'idée de ce qu'on cherche, ce qu'on suppose d'abord, quelque idée préconçue : étonnante profusion de termes pour dire qu'une construction provisoire de l'esprit doit orienter et donner son sens à l'observation, et qui vient heurter frontalement le discours habituel. Le terme d'hypothèse paraît ensuite, soutenu par l'exemple de Darwin :

« Quand Darwin **constate** qu'“en une minute six fleurs de campanule furent examinées par une abeille collectrice de pollen”, et une multitude de menus faits analogues, **il a son idée** : les faits notés deviennent autant de preuves **pour ou contre l'hypothèse** de la fécondation des fleurs par les insectes. »

« Circonscrite de la sorte à des objets déterminés, accompagnée par suite d'une certaine émotion en présence du fait qui va **confirmer ou démentir l'idée préconçue**, l'observation est attentive. »

« Notre esprit marche tout d'une pièce : l'attention des sens, qui **semble d'abord constituer à elle seule toute l'observation**, outre qu'elle est **provoquée par une idée**, resterait inutile sans l'intervention des facultés les plus hautes de l'esprit. »

« L'analyse **empirique** doit être **rationnelle** à un haut degré », écrit l'auteur : on croirait lire Bachelard, tout comme lorsqu'il décrit ce qui entrave une bonne perception par l'enfant :

« il voit tout à travers des **opinions sommaires** qui lui masquent les caractères propres des choses. Des **idées préconçues**, des images de convention flottent entre ses sens et la réalité. Il est **impropre aux rectifications** ».

Loin d'en faire le moyen d'entrée initial et unique dans la connaissance, l'usage des sens est pour l'auteur un moyen de restriction de la pensée aventureuse ; les sens ne sont pas considérés essentiellement comme ouvrant sur le vrai, mais comme fermant des possibles :

« On ne doit pas confondre la culture des sens et de la perception sensorielle avec la culture de la faculté d'observer. Il est utile que l'instituteur sache explorer la portée des sens de ses élèves et découvrir parmi eux

ceux dont la vue est basse (...). Ils n'ont **de prix qu'autant** qu'ils contribuent à réfréner les **tendances de l'esprit** enfantin aux appréciations aventurées. (...) ce qui importe c'est la discipline de l'attention, la **méthode** en un mot. Dans ces exercices, la préoccupation dominante du maître et de la maîtresse doit donc être d'accoutumer les élèves à se tenir en garde contre leur propre **jugement**, à se défier du témoignage non **contrôlé** de leurs sens ».

« Il n'est donc guère d'exercice supérieur où l'occasion ne se présente à l'élève d'apprendre à bien observer, parce que tous offrent l'occasion d'apprendre à penser juste, c'est-à-dire d'apprendre à **raisonner avec hardiesse** et à **conclure avec prudence**, à **devancer** quand il le faut **le témoignage** des faits, à **revenir en arrière** aussitôt que le sol manque sous le pied, (...), mais aussi à toujours subordonner ces vues au **contrôle définitif de l'expérience**. Toute sérieuse éducation de la pensée conduit là. »

Il suffit alors de rapprocher l'entrée *Expérience, expérimentale (Méthode)* de l'entrée *Observation* du même dictionnaire de Buisson : selon la première, il faut prendre pour point de départ l'observation, il faut même qu'on y "oblige l'enfant", mais la seconde nous dit que celui qui ne sait pas ce qu'il cherche ne trouve rien. Donc, si l'enfant *débute* par une observation, sans objectif, il ne trouve rien, et voilà à quoi il faut le contraindre.

Non seulement il ne trouve rien, mais il ne perçoit même rien de ce qui lui est mis sous les yeux : l'idée du fait *possible* « nous rend **seule** perceptible » le fait *réel*.

Mais ces idées sont en contradiction flagrante avec le primat des faits et de l'observation partout présenté comme la panacée.

Qu'aucun des "nombreux collaborateurs" que revendique Buisson ne l'ait relevé, dans les 24 ans entre les deux éditions, révèle d'un manque soit de cohérence, soit d'intérêt réel pour une question censée être centrale dans l'enseignement.

En 1909, un *Rapport sur l'enseignement des sciences physiques et naturelles*<sup>312</sup> rappelle que le principe en est :

« d'obliger l'esprit à **observer d'abord** les faits qui l'entourent, et à développer peu à peu ses capacités d'analyse en imprimant en lui **la véritable méthode expérimentale, la méthode inductive** ».

En 1923, le chapitre consacré à l'enseignement des sciences physiques et naturelles pour le primaire indique que celui-ci doit se faire :

« en conservant partout sa méthode, **méthode expérimentale** propre à éveiller et à entretenir la curiosité intellectuelle ».

La suite des instructions détaille ce qu'est une telle "méthode expérimentale" :

« Dans toutes les écoles, à tous les cours, la méthode employée doit être une méthode **fondée sur l'observation et l'expérience**. C'est à dessein qu'on a effacé du programme le titre : "**Sciences** physiques et naturelles", pour le remplacer par cette expression "**Leçons de choses**, en classe et en promenade". Elle signifie que le livre ne doit jouer, dans cet enseignement, qu'un rôle secondaire. Elle signifie que le maître n'a pas à faire de cours : il doit, en classe et en promenade, **faire** observer et **faire** expérimenter. Nous pourrions appliquer à l'école élémentaire ce passage des Instructions du 30 septembre 1920 concernant les écoles primaires supérieures :

*Le maître s'attachera à **multiplier les expériences** et à **les réaliser** avec des objets usuels (...) Aussi est-ce de produits naturels, de phénomènes familiers, d'opérations banales, que le maître **partira** pour aboutir par l'expérience ou l'observation aux connaissances énumérées dans les programmes.*

Les élèves **prendront part**, autant que possible, aux expériences (...). Il ne sera pas toujours possible (pour diverses raisons) de leur laisser le rôle principal, mais, au moins, on devra éviter de leur parler de choses inconnues. »

---

<sup>312</sup> Faivre-Dupaigne, *Bulletin de l'Union des physiciens*, janvier 1909.

Les enfants, poursuivent les instructions, apporteront en classe ou recueilleront en promenade les plantes et les animaux qui feront l'objet des *démonstrations* et des *leçons*. La “**méthode expérimentale**”, que les instructions mentionnent une seconde fois, voit son importance démontrée par “les exercices d'observation”, la “classe-promenade” et le “musée scolaire”. Ce dernier est ainsi caractérisé :

« petit laboratoire (...) où l'on range après la classe, les matériaux que les enfants ont manipulés, les appareils qu'ils ont fait fonctionner ».

Ainsi, la “méthode expérimentale” dans l'enseignement correspond-elle, pour les élèves, au fait d'*observer* ce que la maître leur montre en promenade ou en classe, ainsi que les expériences qu'il “s'attache à réaliser” ou à leur *faire* réaliser. On mesure toute l'importance attribuée à l'observation dans la redondance des verbes et formules qui la concernent :

« Ils auront **devant les yeux les objets** ou les phénomènes à étudier. Ainsi, ils prendront l'habitude de **voir**, de **fixer** et de **diriger leur attention**, d'**observer** avec méthode (...). Il faut que l'école **forme, exerce, développe l'esprit d'observation** de nos élèves. »

En préférant *leçons de choses* à *sciences* physiques et naturelles, l'objectif était de montrer que les livres étaient secondaires, mais cela fait également bien sentir que le souci est avant tout descriptif : il s'agit davantage de faire de l'“histoire naturelle” que des “sciences naturelles”.

Les instructions de 1923 vont tout de même jusqu'à suggérer que les élèves puissent :

« **imaginer parfois des expériences de contrôle** ».

Malheureusement sans plus de précisions, avant passer aussitôt, et en y insistant davantage, à une toute autre idée :

« Un résultat sans prix qui sera obtenu s'ils arrivent à la notion essentielle des précisions numériques ».

Le prix de la précision descriptive semble bien plus élevé que celui du contrôle expérimental.

Même si cette courte mention d'un moment où les élèves peuvent imaginer un contrôle a retenu l'attention de certains instituteurs, le plus probable, étant donné l'état d'esprit général, est qu'on veuille obtenir d'eux qu'ils *donnent la bonne* expérience, plutôt qu'ils suggèrent une logique qu'on serait prêt à suivre.

Il est justement un instituteur de cette époque, que l'on critique mais qui déclare ne faire que suivre ces instructions de 1923 : un adepte de longue date du tâtonnement expérimental, Célestin Freinet.

Déjà en 1868, et cela permet de faire le pont avec la période impériale d'où sont issues, via la transmission de Jules Ferry, ces consignes bien ancrées, un texte semble pouvoir ouvrir une voie plus investigatrice. Le *Manuel général de l'instruction primaire*<sup>313</sup> interpelle en effet les instituteurs sur des questions qui pourraient être posées en classe :

« Voici un cultivateur qui laboure son champ. Pourquoi laboure-t-il son champ ?  
Ici, il y a des bois, là des céréales (...). Pourquoi n'y a-t-il pas de céréales là où sont les bois (...) ? »

Il s'agit, peut-on lire, de “faire naître des *pourquoi*”. Mais c'est pour “enseigner des *parce que*” : on ne cherche pas à travailler les *parce que* ni les *peut-être que* des élèves, ce qui transparait quand l'auteur écrit qu'il est persuadé de pouvoir faire le constat suivant :

---

<sup>313</sup> De Charles Defodon, cité in Kahn, 2002, p. 57.

« si on posait à bien des enfants, même des enfants de la campagne, des questions aussi simples que celles-ci (...), plus d'un ne répondrait pas juste. »

Il montre ainsi à la fois qu'il n'a pas posé ces questions, qui sont de vrais problèmes, à des enfants, sans quoi il ne se dirait pas juste "persuadé" et nous fournirait des exemples de réponses, et que ce qui compte est soit d'obtenir une réponse juste, soit de la fournir.

Avec ses variations et ses incertitudes, notamment vis-à-vis de la méthode expérimentale qui lui est vite assimilée, la méthode inductive imprègne tous les propos. Discours repris par les inspecteurs comme par les instructions officielles, il s'impose et oriente la pensée des enseignants tout au long du XX<sup>e</sup> siècle.

### Voix divergentes.

John Dewey exprimait cependant ses réticences vis-à-vis des leçons de choses et du primat accordé à l'observation :

« Dans les écoles supérieures et les collèges, on **organise les observations** dans les laboratoires et à l'aide du microscope, **comme si accumuler des faits et acquérir de l'habileté manuelle constituaient des buts pédagogiques en eux-mêmes.**

Comparons à ces méthodes d'observations isolées ce que Jevons appelle observation ; d'après lui, « pour des hommes de science, l'observation n'est efficace qu'à la condition d'être **stimulée et guidée par le besoin de vérifier** une théorie » (...) Tant que la valeur de ce principe ne sera pas reconnue par les éducateurs, l'observation sera le plus souvent un exercice sans vie, sans intérêt, ou bien elle aboutira à faire acquérir différentes formes d'habileté technique qui seront sans utilité pour l'intelligence ». (1909b, p. 254-255).

Le Plan Langevin-Wallon (1947)<sup>314</sup> constatera :

« L'enseignement n'a pas tiré profit du progrès scientifique. **L'empirisme et la tradition commandent ses méthodes** alors qu'une pédagogie nouvelle, fondée sur les sciences de l'éducation, devrait inspirer et renouveler ses pratiques. »

« Les méthodes à utiliser sont les **méthodes actives**, c'est-à-dire celles qui s'efforcent d'en appeler pour chaque connaissance ou discipline aux **initiatives** des enfants eux-mêmes. »

### 1.3.5. Consignes officielles contradictoires au milieu du XX<sup>e</sup> siècle

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle s'opère, non sans heurts et tiraillements, un retournement dans le discours officiel, qui peut être suivi, en sciences naturelles, au travers des proclamations contradictoires, quoique contemporaines, de deux Inspecteurs généraux.

Cinquante ans après la réforme de 1902, on retrouve les mêmes vues, comme en témoigne le texte du discours<sup>315</sup> d'Albert Obré, Inspecteur Général de l'Instruction publique, écrit au début de 1952 et qui mérite d'être relu, car si ses consignes pour un enseignement qui « éduque sans fatigue et avec joie » paraissent bien obsolètes, elles semblent cependant avoir souvent survécu dans les pratiques de classe plus d'un demi-siècle plus tard.

« *Quel est le principe fondamental de notre enseignement ?* La méthode utilisée est l'éducation par **perception directe et induction continue**. (...) *Comment allons-nous procéder ?* Eh bien ! Nous allons procéder par la classe dialoguée avec son complément indispensable ; les travaux pratiques. (...). *Quel est le résultat ?* Au début ce n'est pas brillant. L'enfant est plutôt frappé par un détail (...). Le professeur intervient activement et à

<sup>314</sup> *Le Rapport Langevin-Wallon*, présenté par Claude Allègre, François Dubet, Philippe Meirieu, Éd. Mille et une nuits chez Arthème Fayard, 2004.

<sup>315</sup> Obré (A). L'enseignement des sciences naturelles au cours complémentaire et dans le premier cycle de l'enseignement du Second Degré, conférence du 11 janvier 1952, in *L'enseignement des sciences naturelles*, IPN, 1956.

l'observation directe et sans méthode fait suite *l'observation directe, dirigée et contrôlée*. (...) Ce sont là des méthodes qu'on appelle des *méthodes actives* (...) ».

En classe de quatrième, « la **méthode inductive** est encore suivie ». On commence à « initier les enfants à la **méthode expérimentale** » par « quelques expériences faciles » comme l'action de la chaleur sur la craie, la préparation de la chaux ou la distillation de la houille... Les exemples cités montrent une conception pour le moins singulière de ce qu'est la **méthode** expérimentale.

Nous sommes là un siècle après les protestations de Chevreul, qui refusait qu'on parle de méthode expérimentale « pour peu qu'on fasse des expériences sur quoi que ce soit » (partie 1.1.4.4.).

Mais, en parallèle à cette double vision, purement *inductiviste* de la démarche et simplement *manipulatoire et illustrative* de l'expérience, on voit apparaître dans les recommandations d'un autre inspecteur général, une approche radicalement différente. Dans un article des *Cahiers pédagogiques*<sup>316</sup>, relevant que certains rapports vont jusqu'à dire que la majorité des élèves ne porte aucun intérêt à la géologie, Firmin Campan (1952) en donne certes comme cause la nature de la matière, qui nécessite un effort intellectuel plus ardu, mais aussi le comportement du professeur, qu'il invite à réfléchir sur son enseignement et ses méthodes.

Ce texte est étonnant : c'est un article de revue pédagogique, qui n'a donc pas de valeur prescriptive impérieuse, il traite d'un aspect particulier, l'enseignement de la géologie en classe de quatrième, il met en cause les méthodes des enseignants et y lie l'intérêt des élèves, et, alors même que le sujet se prête rarement à une démarche expérimentale, celle-ci est explicitée en indiquant aux enseignants... ce qu'ils ne peuvent pas faire le plus souvent, selon l'article lui-même. L'objectif général est d'abord défini :

« “armer l'intelligence”, **suivant l'expression même de Claude Bernard** ».

La marche à suivre préconisée commence par l'examen des roches en place, qui pose les **problèmes** de leur origine et de leur histoire, que l'on va chercher à reconstituer.

« Ces études (...), à partir des faits d'observations (...) aboutissent à la conception d'**hypothèses** qui, malheureusement, le plus souvent ici, ne peuvent être suivies d'**expériences vérificatrices** ».

On voit qu'on est loin de l'“induction continue” de son collègue.

On constate aussi à la fois la référence explicite non plus à Bacon, mais à Claude Bernard, et l'apparition de “problèmes” à résoudre. Et l'inspecteur tient tout de même à signaler ce qui ne peut malheureusement être fait, afin, et cela semble être le but essentiel de l'article, d'exposer la logique de la démarche rénovée jusqu'à son terme normal. Tout se passe comme si, à l'abri derrière l'effigie inattaquable de Claude Bernard, Campan mettait prudemment en avant, dans un domaine circonscrit, ses propos nouveaux, en opposition avec les discours habituels.

Quelques mois plus tard, dans un second article des *Cahiers pédagogiques*, il n'évoque plus que très marginalement la nature de la matière dans “l'intérêt variable” des enfants, qui est dû essentiellement, à son avis, **aux méthodes même d'enseignement**. Pour y remédier, il fustige la méthode classique, car dans celle-ci :

« **l'esprit d'observation** pouvait se manifester et se cultiver ; **l'esprit d'initiative**, par contre, **était inhibé** à peu près complètement ».

Il déclare l'avoir aménagée, transformée, pour parvenir à un objectif tout autre :

---

<sup>316</sup> Campan (F.). L'enseignement de la géologie en classe de quatrième, *Cahiers pédagogiques* n°7, 1<sup>er</sup> juin 1952, in *L'enseignement des sciences naturelles*, IPN, 1956.

« développer chez eux au maximum l'**esprit de recherche** et de **découverte** ».

Les élèves sont alors dans une situation très différente :

« mis en présence d'un **problème**, il convient de **leur laisser le soin de le poser et de chercher à le résoudre** »<sup>317</sup>.

Poussé sans doute par le désir de faire le ménage dans les approches méthodologiques des différents enseignants... et inspecteurs, le *Directeur Général de l'Enseignement du Second Degré* intervient à la rentrée 1952 pour définir dans une circulaire les "styles" d'enseignement pour les disciplines scientifiques **et** littéraires<sup>318</sup>. Trente ans plus tard, Gabriel Gohau s'amuse à relever que, jamais démentie et même déclarée "toujours d'actualité" en 1980, cette circulaire reflétait donc encore les conceptions officielles.

Les trois styles sont le *style dogmatique*, le *style historique* et le *style d'enquête ou de redécouverte*<sup>319</sup>. Le deuxième, « incontestablement le plus riche et le plus fécondant pour l'esprit », n'a jamais vraiment été exploré. On peut saluer son retour dans des textes récents sur l'enseignement des sciences au lycée, et son arrivée en force dans les nouveaux programmes de Physique.

Mais c'est le *style d'enquête* qui est largement préconisé. « Style de choix pour la **formation de l'esprit** », il décrit des élèves qui partent « des données confuses du **problème** à résoudre ».

Ce style présente une allure très investigatrice,

« un véritable caractère de **recherche** et d'**enquête** collectives, avec les **hésitations** et les **erreurs inévitables** ».

Il est intéressant, dès lors, de voir nos deux Inspecteurs Généraux de l'Instruction publique peser, pour la promotion de ce "style de choix" dans des sens divergents pour ce qui est de la démarche à y adopter. L'un reste accroché à une démarche inductive, l'autre prône une démarche de nature hypothético-déductive : en plein XX<sup>e</sup> siècle, un *revival* pédagogique des oppositions scientifiques et philosophiques entre cartésiens et baconiens inaugurées au XVII<sup>e</sup>.

Ainsi pour Obré, en 1955, ce qu'est la *méthode d'enquête* :

« essentiellement une méthode **active** par **perception directe et induction continue**, répète-t-il, où les enfants sont, *non des auditeurs*, mais **des acteurs actifs**, dans une classe vivante : ils observent, ils manipulent, ils critiquent leurs résultats ou ceux des voisins, [ils] contribuent ainsi à mettre au point l'interprétation définitive des faits et phénomènes observés, et cela, en allant **du concret à l'abstrait** »<sup>320</sup>.

Sa vision de cette méthode ne paraît pas faire la moindre place à l'hypothèse. S'il en parle cependant, c'est pour la laisser aux bons soins des collègues de Physique, tandis que les mathématiques ont en charge la déduction. C'est que les sciences naturelles, elles, doivent concentrer leurs efforts sur leur « véritable **mission d'initiation à l'induction** ». Les buts de cette discipline sont en effet :

---

<sup>317</sup> Campan (F.). Travaux pratiques de sciences naturelles dans le second cycle, *Cahiers pédagogiques* n°2, 1<sup>er</sup> novembre 1952, in *L'enseignement des sciences naturelles*, IPN 1956.

<sup>318</sup> "Faut-il raisonner logiquement ?" *Cahiers pédagogiques* n°214, mai 1983.

<sup>319</sup> *Les méthodes de l'enseignement du Second Degré*, circulaire du 6 octobre 1952 signée de Charles Brunold.

<sup>320</sup> Obré (A). L'enseignement des sciences naturelles. Conférence de Rabat, mars 1955. in *L'enseignement des sciences naturelles*, IPN 1956.

« 1° Développer les facultés d'**observation** de l'enfant ; 2° Lui faire connaître le monde où il vit et qu'il ne sait pas **voir** par lui-même ; 3° Lui apprendre à **observer** car les enfants, comme les adultes, passent à côté de la réalité sans ouvrir les yeux ».

L'enfant donc observe, observe et observe encore, et en induit la réalité.

À lire son collègue Firmin Campan (1954), l'approche paraît bien différente. Dans cette même (le croirait-on ?) méthode d'enquête,

« [les] observations amènent nécessairement des réflexions, suscitent des **problèmes**. Ces problèmes, le professeur s'attache à les faire bien poser, à en faire découvrir les différents éléments, à **en faire rechercher** la solution. Des **hypothèses** sont émises. Ces hypothèses **entraînent des expériences**. Celles-ci, à leur tour, conduisent, sinon toujours à la solution elle-même, du moins sur la voie de la solution ».

Les idées de Campan finiront par l'emporter, au moins dans les instructions officielles, puisqu'il inspirera celles qui suivront :

« Plus d'authenticité est mise en œuvre dès 1968, par le renforcement de l'emploi de la **méthode expérimentale**. Dans la nouvelle organisation de la classe, les élèves, acteurs de la leçon, sont placés en situation de pratiquer une **démarche hypothético-déductive** » (Demounem et Astolfi, 1996, p. 87).

Selon les Instructions du 17 octobre 1968<sup>321</sup>, la **démarche pédagogique** comporte plusieurs étapes : analyse des faits, apparition du **problème**, **hypothèses**, mise en œuvre des moyens (notamment expérimentaux) permettant d'**éprouver** la valeur de ces hypothèses, élaboration d'une conclusion.

Par la suite, les instructions de 1977, pour le Collège, définissent l'enseignement par problèmes et celles de 1982, pour le lycée, préconisent avec insistance la *démarche hypothético-déductive*, sans que les jeunes enseignants d'alors n'aient même, pour la plupart, jamais entendu le terme, mais dont ils connaissent peut-être la logique s'ils ont lu Claude Bernard.

---

<sup>321</sup> In Giordan (coord.), 1978a, p. 50-51.

### 1.3.6. L'influence de Claude Bernard

Son empreinte apparaît nettement quand on revisite les programmes en ayant en tête la procédure du “savant complet” dont il a donné les étapes : constat, hypothèse, raisonnement, expérience, résultats (voir partie 1.2.8.3.).

Une succession que les instructions du 31 octobre 1952 reprennent, améliorent même, par une description non linéaire dans laquelle la part belle est faite aux hypothèses, au pluriel et mentionnées trois fois en deux phrases :

« Il convient, pour un sujet déterminé, de partir toujours d'**observations**. Ces observations entraînent des réflexions qui conduisent à des **hypothèses**, celles-ci **déterminent** la **conception d'expériences** qui entraînent souvent de nouvelles réflexions, des **hypothèses nouvelles**, enfin peut-être des conclusions. Ces conclusions ne sont pas définitives, de nouvelles découvertes peuvent entraîner **encore de nouvelles hypothèses**, des expériences nouvelles, et modifier les conclusions initiales, en un mot, la science se fait pas à pas. (...) Il s'agit d'obliger les élèves à respecter l'ordre le plus logique, celui qu'impose la **méthode scientifique** » (1952, *in* Giordan (coord.), 1978a, p. 50).

Les instructions suivantes, en 1968, sont celles où apparaît un **problème** à résoudre, comme dans le texte de Campan, sa résolution passant par l'émission d'hypothèses, solutions possibles à éprouver :

« La **démarche pédagogique** (...) comporte plusieurs **étapes** :

- une étape d'analyse des **faits** et de l'**environnement** dans lequel ils s'insèrent ;
- un **raisonnement** qui intègre les divers paramètres fait apparaître le **problème** et permet de le poser avec précision ;
- un effort d'imagination dans la recherche et pour la découverte **de la ou des hypothèses**, c'est-à-dire des solutions possibles du problème ;
- la mise en œuvre des moyens expérimentaux permettant d'**éprouver la valeur de ces hypothèses** et d'approcher ainsi la vérité ;
- enfin, la manifestation d'un esprit de synthèse dans la formulation et l'élaboration d'une conclusion, parfois d'une loi ».

« Une telle démarche aboutit à la mise en œuvre d'une pensée logique, à l'entraînement à une **véritable attitude scientifique**. » (1968, *in* Giordan (coord.), 1978a, p. 50-51).

Les étapes répertoriées, présentées en 1952 comme celles de la **méthode scientifique**, sont maintenant celles de la **démarche pédagogique**. On ne sait s'il s'agit pour les auteurs de la même chose, la seconde devant être pour les élèves le reflet de la première. Et une *démarche* se substitue à une méthode, sans doute pour atténuer le côté rigide de la succession d'étapes décrite.

Autre modification : le point de départ n'est pas constitué que des faits, mais aussi “de *l'environnement* dans lequel ils s'insèrent”, sans précisions : théories ? Acquis ou idées des élèves sur le sujet ? ...

Claude Bernard donne clairement cette succession d'étapes (hormis le problème qui reste implicite), lorsqu'il dit qu'elles peuvent être réalisées par des savants différents qui se relaient :

« Mais il arrive le plus souvent que, dans l'évolution de la science, **les diverses parties du raisonnement expérimental** sont le partage de plusieurs hommes. Ainsi il en est qui, soit en médecine, soit en histoire naturelle, n'ont fait que recueillir et rassembler des **observations** ; d'autres ont pu émettre des **hypothèses** plus ou moins ingénieuses et plus ou moins probables fondées sur ces observations ; puis d'autres sont venus réaliser expérimentalement les conditions propres à faire naître l'**expérience** qui devait contrôler ces hypothèses ; enfin il en est d'autres qui se sont appliqués plus particulièrement à généraliser et à systématiser les **résultats** obtenus par les divers observateurs et expérimentateurs ».

« Ce n'est qu'après qu'il aura constaté les résultats de l'expérience absolument comme ceux d'une observation ordinaire, que son esprit reviendra pour **raisonner, comparer et juger si l'hypothèse expérimentale est vérifiée ou infirmée** ». (1865, p. 52 et 55).

C'est là l'origine d'une formule critique qui, au grand dam de son auteur (André Giordan, 1976), fait toujours fortune : comme le rappelle Gabriel Gohau (2002),

« La circulaire d'octobre 1968 (...) est le point de départ de ce que les adeptes d'une pédagogie moins rigoureusement corsetée moqueront sous le nom d'**OHERIC** (observation-hypothèse-expérience-résultat-interprétation-conclusion) ».

Depuis, les termes *problème* et *hypothèse* ont conquis les textes officiels, alors que celui d'*induction* les a désertés.

### 1.3.7. L'esprit des Instructions actuelles pour les deux degrés

Dans l'enseignement primaire, l'impulsion donnée par l'opération *La main à la pâte*, sous la conduite du physicien Georges Charpak, a débouché sur un plan de rénovation de l'enseignement des sciences.

Ce projet, favorise, comme son nom l'indique, l'expérimentation, l'observation et l'investigation à partir des phénomènes et des objets.

L'insistance est mise sur le fait que l'enfant apprend par l'action : l'enseignant doit laisser l'élève agir, s'impliquer, se tromper, en explicitant son point de vue, en le confrontant à ceux des autres et aux résultats expérimentaux pour en tester la validité. Les élèves réalisent eux-mêmes des expériences, pensées par eux, et discutent pour en comprendre l'apport.

Cependant, une certaine ambiguïté subsiste lorsqu'on lit le principe n°3 de la charte de l'opération :

« Les activités **proposées aux élèves** par le maître (...) laissent une large part à l'autonomie des élèves ».

L'éclairage suivant est proposé sur le site de *La main à la pâte*<sup>322</sup> :

« L'autonomie des élèves sera sollicitée **si l'organisation** de séances de classe **prévoit** par exemple des essais multiples, **une participation** à l'élaboration des dispositifs, la possibilité de se tromper, etc. »

Ainsi, les expériences réalisées sont “pensées par” les élèves, mais les activités sont “proposées par le maître”, et l'autonomie, “sollicitée si”, n'est pas la règle.

L'ouvrage collectif<sup>323</sup> paru en 1996, présenté par Georges Charpak, permet un rapprochement édifiant :

« L'une des **spécificités** du programme que nous appelons “la main à la pâte” tient au fait **que le maître n'oriente pas les hypothèses** mais laisse les enfants **concevoir eux-mêmes** leurs expériences en fonction de ce qu'ils pensent trouver. (...) Par la discussion riche en arguments qui s'ensuit, ceux-ci accèdent à plus de logique, à plus de rigueur et à l'acquisition d'une **démarche scientifique**. Le réel s'impose progressivement et **brise alors les présupposés**. » (p. 31).

Ce texte fort est immédiatement suivi d'un exemple d'activité :

« Comment une éruption volcanique se produit-elle ? Trois cuillerées de confiture de fraise ou de groseilles au fond d'une casserole, une épaisse couche de purée par-dessus, une ébullition contrôlée **et voilà l'éruption** ! En mettant le tout au congélateur, en coupant la purée le lendemain, on obtient **une image de la structure interne d'un volcan**. » (p. 31).

Comment cet exemple peut-il bien illustrer la “spécificité” qui vient d'être énoncée ? N'est-ce pas le maître qui introduit l'idée de recourir à la confiture et à la purée, ainsi d'ailleurs qu'au

<sup>322</sup> [http://www.inrp.fr/lamap/?Page\\_Id=59](http://www.inrp.fr/lamap/?Page_Id=59)

<sup>323</sup> *La main à la pâte*, Flammarion, 1996.

congélateur : où sont les enfants censés “concevoir eux-mêmes leurs expériences”, *en fonction de ce qu'ils pensent trouver* ? On voit également mal ce qu'ils penseraient “trouver”, et quelles hypothèses que le maître “n'oriente pas” ont pu être émises. Les élèves exécutent et c'est tout, et effectivement ils auront le lendemain une image de la structure interne d'un volcan, mais fautive, avec l'édifice reposant sur un soubassement de magma. Ils verront bien sûr que la confiture est passée à travers la purée par une “cheminée”, mais quels élèves doutaient qu'il y ait un conduit sous le cratère ?... L'ouvrage nommé “expériences” ce genre de modélisations, et même s'il prévient qu'il ne faut pas les prendre au pied de la lettre, poursuit sans sourciller :

« **seule la confrontation au réel** modifie en profondeur sa perception des choses et lui permet de faire évoluer ses concepts. »(p. 32).

Cependant le réel, dans cet exemple, se réduit à la purée traversée de confiture.

On rencontre donc dans cette opération à la fois l'affichage de principes forts, mais aussi des exemples concrets qui montrent que trop souvent c'est **l'activité pratique qui prime**, significativement d'ailleurs l'opération se nommait, à l'origine aux USA, “*Hands on, mind on*” et la référence à l'esprit disparaît dans la transposition française –tandis que les Suisses ont su la conserver en nommant l'opération équivalente *Penser avec les mains*.

### Le “Canevas d'une séquence”

L'opération *La main à la pâte* a le mérite d'avoir retenu l'attention des responsables de l'éducation en France, et a conduit, à la rentrée 2000, au lancement d'un Plan de Rénovation de l'Enseignement des Sciences et de la Technologie à l'École (PRESTE) qui s'en inspire largement.

Ce Plan propose aux enseignants un modèle de progression nommé “canevas d'une séquence”, présenté comme fournissant des repères sans prétendre définir “la” méthode scientifique. Ce canevas identifie cinq moments essentiels, indiqués dans un ordre de succession qui ne se veut pas linéaire :

« - Le choix d'une **situation de départ** ;

- La formulation du questionnement des élèves, phase dans laquelle le maître aide à reformuler les questions des élèves et où émergent les conceptions initiales des élèves, menant à la « confrontation de leurs éventuelles divergences pour favoriser l'appropriation par la classe du soulevé » ;

- L'élaboration des **hypothèses** et la conception de l'investigation à réaliser pour les valider/invalidier, avec, en groupes, réalisation d'écrits précisant les hypothèses et les protocoles ;

- L'investigation conduite par les élèves, par “la mise en œuvre de l'**expérience**” ;

- L'acquisition et la structuration des connaissances : comparaison et mise en relation des **résultats** des divers groupes, confrontation avec le savoir établi, formulation écrite élaborée par les élèves avec l'aide du maître, des connaissances nouvelles acquises ; réalisation de productions destinées à la communication du résultat. »

Les *Documents d'application* du cycle 3 (2002) précisent “**Comment enseigner les sciences et la technologie à l'école**” :

« poser un **problème**, donner aux élèves le temps d'y réfléchir individuellement puis par petits groupes, confronter les **hypothèses**, mettre en relief les désaccords (...). L'**activité intellectuelle** de l'élève reste la priorité. »

Ayant pour axe central la succession **problème** → **hypothèses** → **expérience**, le canevas préconisé est de type hypothético-déductif.

### “Démarche d'investigation” et démarche scientifique dans le secondaire

Dans la continuité de cette rénovation à l'école primaire, de nouveaux programmes ont été introduits au Collège, accompagnés d'un "canevas d'une séquence d'investigation" (2005) reprenant, pour l'essentiel, celui du PRESTE.

Un texte officiel de cadrage général, *L'enseignement des sciences au lycée* (2001)<sup>324</sup> débute en déclarant quelle est sa finalité :

« L'enseignement des sciences au lycée est d'abord conçu pour **faire aimer la science** aux élèves, en leur faisant **comprendre la démarche intellectuelle, l'évolution des idées, la construction progressive** du corpus de connaissances scientifiques. »

Ce texte ajoute :

« naturellement, il est impossible d'apprécier une discipline, sans avoir **un certain nombre de connaissances** de base ».

Mais il n'en affirme pas moins, depuis 2001, pour les trois niveaux du lycée et pour l'ensemble des matières scientifiques, que **le but premier** est la compréhension des stratégies à l'œuvre dans les cheminements scientifiques.

« La **logique pédagogique** que sous-tendent ces nouvelles approches est que le développement des sciences se fait par un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre, et que l'exposé axiomatique de la science déjà faite ne correspond pas au mouvement de **la science en train de se faire**. »

Sont ainsi mises en valeur la créativité et l'exploration au sein de la démarche d'expérimentation,

« **démarche** essentielle des sciences. Elle consiste à **imaginer, à inventer** des situations reproductibles permettant d'**établir la réalité** d'un phénomène ou d'en mesurer les paramètres. (...). Il faut **enseigner à l'élève cette démarche**, en acceptant les **tâtonnements, les erreurs, les approximations**. »

La priorité suprême est ensuite réaffirmée :

« Il faut privilégier avant tout l'enseignement de la **démarche scientifique** ».

En **SVT**, les textes de référence stipulent que tous les sujets correspondent à des **problèmes scientifiques**, qui doivent être résolus par une "**démarche explicative**". Cette démarche est très clairement définie dans un document officiel destiné aux enseignants :

« Les faits tirés d'observations, leur confrontation aux connaissances et aux conceptions des élèves permettent de formuler des **problèmes scientifiques**, dont la résolution s'inscrit dans une **démarche explicative** et permet d'élaborer des **projets d'activités**.

**Cette démarche** amène les élèves à **rechercher des hypothèses**. Celles-ci sont **éprouvées**, en ayant recours à l'expérimentation ou à l'exploitation d'informations complémentaires tirées d'observations, d'analyses de documents, de l'utilisation de maquettes, etc. »<sup>325</sup>

Une orientation hypothético-déductive en conformité avec des textes émanant de l'Inspection générale :

« Il est nécessaire de rappeler qu'en sciences de la vie et de la Terre, **pour tout sujet** d'étude, on recherche un ou plusieurs **problèmes** biologiques ou géologiques, point(s) de départ de la **démarche explicative**. Les

<sup>324</sup> B.O. HS N°2 du 30 août 2001.

<sup>325</sup> *Accompagnement des programmes du cycle central 5e/4<sup>e</sup>, in Enseigner au collège, SVT, CNDP, 2002, p. 72.*

activités expérimentales ne sont jamais une fin en soi mais servent à éprouver des **hypothèses** » (Kern, 1998)<sup>326</sup>.

Pout ***tout sujet*** : cela paraît cependant beaucoup, eu égard à la définition de cette *démarche explicative* fournie par le texte précédent. Un rapport sur *l'enseignement par problèmes* spécifie :

« La formation des élèves au mode de pensée expérimental implique **nécessairement** la maîtrise de **l'hypothèse explicative** (relation de causalité, explication anticipée, mais à éprouver) **dont on déduit** le principe et les conditions de l'expérience. »<sup>327</sup>

Les rapports 2000 à 2008 du jury du CAPES externe de SVT répètent inlassablement :

« Il ne faut **pas hésiter** quand cela est possible à mettre en œuvre la démarche scientifique » (en 2004, “une” a remplacé “la”), rappelant que « **l'hypothèse** peut être (...) à **l'origine** de la recherche de **conséquences vérifiables** sans lesquelles il ne saurait y avoir de construction raisonnée d'un protocole expérimental ».

Ces neuf rapports successifs valorisent donc, dans l'enseignement des sciences, la mise en œuvre d'une démarche scientifique dans laquelle *l'hypothèse* tient une place centrale.

En **Physique-Chimie**, on insiste moins sur la mise en situation de recherche dans l'enseignement secondaire qu'on ne le fait en SVT, et moins également que dans le Primaire : des “expériences de cours” sont prévues par les programmes, et, pour les objectifs méthodologiques,

« on a séparé les compétences à acquérir selon qu'elles concernent la mise en place d'une **démarche scientifique** ou plutôt les manipulations et les mesures. » A l'issue du collège, les élèves doivent pouvoir conclure sur « une expérience réalisée sur les indications du professeur ».

Néanmoins, parmi ses objectifs pour le collège et le lycée, l'enseignement de physique-chimie,

« au travers de la **démarche expérimentale**, doit former les esprits à la rigueur, à la **méthode scientifique**, à la critique et à l'honnêteté intellectuelle » (Programmes de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup>).

Les documents d'accompagnement fournissent des exemples de démarche expérimentale au collège, tous articulés sur la même succession d'étapes : situation-problème / **formulation d'hypothèses** / **vérification expérimentale des hypothèses** / analyse des résultats / réponse au problème.

Les programmes de lycée mis en place à partir de la rentrée 2000 s'interrogent, de manière assez inhabituelle, en posant la question : “pourquoi un enseignement expérimental ?”

« Il permet à l'élève de **confronter ses représentations avec la réalité**.  
(...) les élèves doivent savoir ce qu'ils cherchent, **anticiper** (quitte à faire des erreurs) un ou des résultats possibles. »

Le programme de 1<sup>o</sup>S comporte, en 2000, un vibrant plaidoyer anti-inductiviste<sup>328</sup> :

« L'observation d'un phénomène ne devient scientifique que si elle alimente l'élaboration de **représentations mentales** de la réalité observée. On peut observer la rétrogradation de Mars sans que cela pose problème ; il n'y a questionnement que lorsque l'on essaie d'**imaginer** quel mouvement relatif de Mars et de la Terre peut conduire à cette observation. On peut observer le mouvement brownien sans s'interroger sur sa cause ; “voir” dans ce mouvement les molécules sous-jacentes représente une **anticipation** d'une **hardiesse** qui étonne encore. »

---

<sup>326</sup> *Évaluation des capacités expérimentales en TS en SVT*. Bilan de l'expérimentation conduite par l'IGEN de SVT (1998).

<sup>327</sup> *Bilan du groupe de l'IGEN sur l'enseignement par problèmes scientifiques*, janvier 1994.

<sup>328</sup> B.O. HS n°7 du 31 août 2000.

Vient alors une formulation très constructiviste :

« *Comprendre, c'est toujours reconstruire le réel par la pensée.*

Ces **images mentales des phénomènes** sont les outils indispensables **pour** (...) **élaborer des expériences** nouvelles, créer des objets nouveaux. Les phases de questionnement sont les moments au cours desquelles **ces images mentales sont élaborées par les élèves**, lors d'un processus de **confrontation** entre ce qu'elles permettent d'**anticiper** et l'expérimentation directe. C'est, en particulier, de cette convergence que se nourrit la curiosité pour les sciences. ».

De l'école primaire jusqu'au baccalauréat, c'est donc une démarche hypothético-déductive qui est préconisée. Elle devait même s'appliquer à "tout sujet d'étude" en 1998 en SVT, tandis qu'en Physique les images mentales sont déclarées *indispensables* pour l'élaboration d'expériences.

Le décalage est donc considérable entre ces instructions et les pratiques courantes.

### Problèmes de cohérence

Mais la cohérence entre les divers discours officiels, et entre ceux-ci et les attendus plus ou moins implicites des programmes ne favorisent pas une vision univoque pour l'enseignant. Ainsi les programmes de collège de Physique (5<sup>e</sup>-4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>) précisent-ils :

« les activités expérimentales, en amenant les élèves à formuler des **hypothèses** et à les **confronter aux faits**, développent la pensée logique ».

Mais, dans le même temps, ils fournissent des **fiches de T.P. toutes prêtes**, peu propices à une telle approche.

Et le *Rapport de la mission sur l'enseignement de la physique* au Ministre de l'Éducation nationale, dit "Rapport Bergé" (1989)<sup>329</sup>, précise :

« La Physique, science expérimentale par excellence, doit voir son enseignement s'appuyer sans cesse sur l'observation des **faits** et des phénomènes, **on doit privilégier la méthode inductive** et le recours systématique à **l'expérience** ».

Les documents accompagnant les programmes, voulant fournir des exemples de démarches d'investigations, sont parfois eux-mêmes loin de respecter le canevas général ! En 5<sup>ème</sup> par exemple<sup>330</sup>, sur la respiration des animaux, les élèves doivent-ils commencer par les observer dans leurs milieux de vie,

« afin de **décrire** leurs comportements respiratoires et de **découvrir** les organes qui permettent les échanges respiratoires ».

Un poisson "reste toujours dans l'eau", une grenouille "revient régulièrement à la surface", un criquet "présente des mouvements rythmiques de l'abdomen"...

« Le recueil de **faits de départ** se poursuit par la réalisation de dissections **pour observer** les organes respiratoires ».

Apparaissent alors branchies, trachées "qui conduisent l'air de l'extérieur vers les cellules" et poumons, "dont les parois très richement irriguées permettent le passage de l'air du poumon dans le sang" :

---

<sup>329</sup> Bergé, P. (1989). *Rapport de la mission sur l'enseignement de la physique*. Ministre de l'Éducation nationale.

<sup>330</sup> [http://eduscol.education.fr/D0018/SVT\\_5e\\_acc.pdf](http://eduscol.education.fr/D0018/SVT_5e_acc.pdf)

« Ces nouvelles **observations** permettent donc de **constater** un lien entre milieux de vie et organes respiratoires. (...) Le questionnement est mis en place, l'investigation est initiée. »

Ici, il n'est plus du tout tenu compte des *idées* des élèves, de leurs conceptions, ce qui est pourtant par ailleurs préconisé. Or, certains attribuent volontiers des poumons aux poissons tout comme au criquet, qu'ils ont pu voir parler ou souffler en dessin animé, chapeau sur la tête. Ils risquent d'ailleurs de voir certains poissons facétieux venir en surface et y ouvrir la bouche, tandis qu'ils seront très forts si par la **simple observation** d'un criquet ils détectent les orifices de ses trachées, et n'ont aucune chance de découvrir la respiration essentiellement cutanée de la grenouille. Le passage de ces observations à d'autres, anatomiques, se fait sans qu'aucune idée venant des élèves ne soit attendue ni considérée. Quant à voir par dissection que les trachées mènent aux cellules et à déduire de la riche irrigation des poumons que "l'air" passe dans le sang, ce qui est d'ailleurs faux (l'azote, 80% de l'air, reste où il est), cette fois, la pensée des élèves semble avoir été libérée, et fonctionner fort efficacement !

Ce genre d'exemple illustre le glissement entre une démarche hypothético-déductive préconisée théoriquement et l'approche empiriste réelle.

Loin de promouvoir une **didactique de l'initiative** qui pourrait se faire en conférant aux conceptions des élèves le statut d'hypothèses à tester, ces exemples habituent, au contraire, à ne pas problématiser l'étude menée, et à centrer les élèves, de manière très empirique, sur les observations et les manipulations demandées.

Nous verrons cependant (en partie 5.2.3.) que ce même document fournit de (rares) exemples plus satisfaisants du point de vue de la cohérence avec les principes proclamés.

Quelle clarification apporte le « socle commun de connaissances et de compétences » qui vient d'être défini (2006), pour l'école et le collège ?

Celui-ci indique :

« L'élève doit être capable de pratiquer une **démarche scientifique** :

- savoir observer, questionner, formuler **une** hypothèse **et la valider**, argumenter, modéliser de façon élémentaire ;
- comprendre le lien entre les phénomènes de la nature et le langage mathématique qui s'y applique et aide à les **décrire** ».

On remarque qu'il n'est fait mention, dans une démarche scientifique, que d'une seule hypothèse, qui est la "bonne" puisqu'elle va tout simplement être *validée*, et non pas *testée*.

Cette manière d'envisager l'usage de l'hypothèse est en recul important par rapport à de nombreux textes officiels antérieurs, elle est, surtout, non conforme à toute une série d'études historiques et épistémologiques.

Pédagogiquement, Dewey était en avance en 1909 quand il proposait de "multiplier les suggestions alternatives", de "peser les diverses hypothèses" et d'entreprendre des investigations pour "corroborer ou réfuter" les suggestions spontanées (1909a, p. 24 ; 1909b, p. 103 et 275 ; voir partie 1.5.2.2.).

Dans la logique du "socle" français, il suffit d'ailleurs que l'hypothèse soit acceptée par le professeur pour savoir qu'elle ne peut qu'être valide, puisque tel est son seul devenir possible : les élèves, le constatant au fil des répétitions de cette procédure, le comprendront vite. Et en procédant par induction !

Épistémologiquement, ne songer qu'à *vérifier* correspond au critère vérificationniste néo-positiviste du *Cercle de Vienne* des années 1920-1930, vivement combattu par Karl Popper. Il suffit de citer Jacques Monod, prix Nobel en 1965, qui faisait remarquer il y a plus de quarante ans :

« les critères de signification et de vérifiabilité que propose l'école néo-positiviste sont inopérants » (1973, p. 2).

Claude Bernard énonçait qu'il ne fallait « jamais faire des expériences pour **confirmer** ses idées, mais simplement pour les **contrôler** », expliquant :

« Les hommes qui ont une foi excessive dans leurs théories ou dans leurs idées sont non seulement mal disposés pour faire des découvertes, mais ils font aussi de très mauvaises observations. Ils observent nécessairement avec une idée préconçue, et quand ils ont institué une expérience, **ils ne veulent voir dans ses résultats qu'une confirmation** de leur théorie. Ils **défigurent ainsi l'observation** et négligent souvent des faits très importants, parce qu'ils ne concourent pas à leur but. » (1865, p. 72)

À la formule de Feynman :

1. Make **a** guess; and 2. See **if** you're **wrong**, le socle substitue :

1. Make **the** guess; and 2. **Certify that** you're **right**.

Les mots de Jacques Rohault sur le rôle des expériences, en 1671, suffiraient même à fournir deux améliorations : “faire découvrir la vérité **ou la fausseté** des opinions conçues”.

Didactiquement, le “socle” constitue bien là le support d'une des « caractéristiques génériques des options **inductivistes** dans l'enseignement des sciences » relevées par Joshua et Dupin (1993, p. 217-219) : la *validation opératoire* :

« La loi, **non questionnée** dans de véritables expériences **tests** (...) sera, **au mieux, vérifiée.** »

La phrase sur le langage mathématique n'aide pas non plus à discerner ce qu'est une démarche scientifique : d'une part, les phénomènes biologiques par exemple sont fort rarement décrits par ce langage, d'autre part, *comprendre un lien* entre un phénomène et un langage, fut-il mathématique, *n'est pas* “pratiquer une démarche scientifique”.

De nombreuses démarches scientifiques se pratiquent sans l'aide de ce langage, sauf, bien sûr, si l'on considère par exemple que soupçonner l'intervention d'un organe dans un phénomène biologique, en faire l'ablation et constater l'arrêt du phénomène, c'est mathématiquement passer de 1 à 0.

L'“*Introduction générale* de physique-chimie pour le collège” interroge plus encore, la formulation d'origine étant transformée :

« L'élève doit être capable de pratiquer une démarche scientifique, *c'est-à-dire* d'observer, questionner, formuler une hypothèse et la valider, argumenter, modéliser de façon élémentaire *et* comprendre le lien entre les phénomènes de la nature et le langage mathématique qui s'y applique et aide à les décrire ».

Il ne s'agit plus de compétences attachées à la pratique de cette démarche, mais soit d'une définition (“c'est-à-dire”), soit, pour le moins, d'une série d'éléments nécessaires, et sans doute suffisants, pour cette pratique.

Or pratiquement chaque élément est contestable : *observer* est habituel dans les premiers temps d'une démarche mais n'est ni indispensable, ni isolé de conceptions antérieures. *Questionner*, mais qui donc ? Soi-même si on veut, mais alors mieux vaudrait dire *se questionner*. De nombreuses démarches, pourtant très scientifiques, n'ont rien *validé* du tout. *Argumenter* ? C'est exclure toutes les démarches scientifiques menées par un individu seul dans ses réflexions, et non seulement il y en eut (Kepler, Loewi, Röntgen...) mais on ne peut en faire un élément incontournable. De même pour *modéliser*, d'ailleurs « pratiquer une démarche scientifique, *c'est-à-dire* (...) modéliser *de façon élémentaire* » est étrange.

Tant d'ambiguïtés en si peu de mots ne peut guère aider l'enseignant à se faire une idée rigoureuse de ce qu'est une démarche scientifique utilisant l'hypothèse, ou à la conserver s'il en a une.

Le programme de SVT, lui, *sépare* les parties de cette démarche, mais lui conserve tout de même son nom ! Prenons les premiers exemples du nouveau programme de 3<sup>ème</sup> (2007, les numéros ne sont là que pour le repérage dans la discussion qui suit) :

- (1) « - Pratiquer une démarche scientifique : observer, questionner, afin de distinguer un caractère (...). »
- (2) « - Pratiquer une démarche scientifique : observer, questionner, afin de localiser (...). »
- (3) « - Pratiquer une démarche scientifique : observer, questionner, argumenter pour relier (...). »

Dans le cas (3) au moins (une liaison), l'hypothèse aurait eu sa place : on remarque que c'est justement l'étape qui a disparu, mais toutes ces activités qui ne comportent qu'observations et questions, ou incluent aussi dans le dernier cas une "argumentation" (sur quoi, s'il n'y a pas de supposition sur le lien recherché ?), sont tout de même nommées "démarche scientifique".

- (4) « observer, questionner, formuler une hypothèse et la valider pour mettre en évidence une production d'anticorps »
- (5) « Observer, questionner, formuler une hypothèse sur le mécanisme permettant le maintien du nombre de chromosomes »

On peut aussi s'interroger sur (4) : qu'y a-t-il de douteux ici ? Car on ne parle pas de *trouver un moyen* de le faire, ce qui est autre chose.

Des formulations comme (5) n'ont pas (en dehors de "questionner" et de "une") les travers des précédentes, mais comment progresser avec discernement dans ce mélange ?

Cette vision baroque est appelée à s'imposer, puisque les programmes détaillés répètent à différents niveaux et pour différents sujets la maxime "formuler une hypothèse et la valider", et, du coup, la martèlent en un leitmotiv.

Mais elle serait catastrophique aux yeux d'un Dewey, qui en appelait à la diversité des hypothèses surgissant comme par "bonds", d'un Piaget, ou, pire encore, d'un Popper, qui combattait la pensée unique de la validation, et d'un Bachelard, pour qui la pensée avance en se rectifiant.

C'est en effet une **didactique de la rectification** plutôt que de la validation qui serait conforme à leurs vues : elle ne semble pas près d'être instaurée.

Ces ambiguïtés, voire ces divergences ne peuvent qu'accroître l'écart entre les recommandations officielles courantes et les pratiques effectives en classe, pour lesquelles, simplement parce que l'élève observe ou questionne, il sera réputé "pratiquant une démarche scientifique" –tout comme, lorsqu'on lui fait faire une expérience, est-il en pleine démarche expérimentale.

Comment en est-on arrivé là ? Comment les hypothèses, si fertiles dans les préméditations qui poussent le chercheur à agir dans telle ou telle direction, peuvent-elles avoir une place si ambiguë dans les instructions, et si ténue dans les salles de cours et de travaux pratiques de l'enseignement scientifique ? *Justement* parce qu'elles pousseraient aussi les élèves dans telle ou telle direction, qui pourrait ne pas être celle programmée. Nous avons évoqué la crainte qu'inspirent aux professeurs ces hypothèses d'élèves qui, susceptibles d'engendrer des itinéraires non programmés, ne sont pas sollicitées ou ne sont pas prises en compte.

Pour les exclure de l'itinéraire tracé, le professeur peut s'appuyer sur l'image de la recherche scientifique ancrée par la bataille idéologique historique dans laquelle Isaac Newton tient un rôle majeur.

## 1.4. Une illusion méthodologique durable

**Il refuse le mécanisme parce que c'est une hypothèse, c'est-à-dire une ruse de l'intelligence à l'égard du réel.**  
Georges Canguilhem<sup>331</sup>

On ne peut guère s'étonner qu'un Whewell, peu entendu, n'ait guère eu d'impact en France. Mais Chevreul ? Mais Claude Bernard ? Pourquoi les concepteurs des programmes scientifiques ne s'appuient-ils pas sur leurs considérations méthodologiques depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle ?

### 1.4.1. Bannir les idées préconçues

Pasteur peut nous servir ici de témoin de l'état d'esprit qui règne dans le monde savant à cette époque. Il s'exprime sur la philosophie des sciences en 1864, soit juste avant la parution de *l'Introduction* de Claude Bernard.

Il y a nettement, et depuis longtemps, deux camps : celui de l'esprit de système et de la vaine spéculation, exécration, et celui de la pratique expérimentale, admirable. Newton a dévasté le premier camp, dispersant les mauvais penchants du lieu par sa propagande efficace -tout en s'y adonnant, mais un tel conquérant pouvait tout se permettre.

Dans sa conférence aux *Soirées scientifiques de la Sorbonne* du 7 avril 1864 sur les générations spontanées, Pasteur reconnaît que les lignes se sont déplacées : la référence à l'expérience est désormais partout. Mais elle peut n'être que de façade :

« Pensez-vous que d'un côté il y ait seulement des poètes, des romanciers, des savants à systèmes ; de l'autre, des gens prudents qui ne veulent croire qu'aux résultats de l'expérience ? Non, non ; Dieu merci, nous sommes plus avancés que cela, la philosophie des sciences est plus avant que cela dans nos mœurs, dans nos habitudes de penser, et des deux côtés **personne ne veut croire qu'à l'expérience.** »

Mais puisque tout le monde s'y réfère, il faut démasquer les imposteurs, et c'est l'historien Jules Michelet qui en fait les frais : dans *La Mer* (1861), il observe au microscope la vie dans une goutte d'eau et, méditant sur ce monde infini où naviguent "des guerriers atomes qui chassent des atomes inoffensifs", il s'interroge : naîtraient-ils spontanément ? Michelet a le malheur de se référer, sur la question, à "l'éclat" des expériences de M. Pouchet, et non à celles de M. Pasteur.

« Un des plus beaux hommages que l'on puisse rendre **à la puissance de la méthode expérimentale** »,

ironise alors Pasteur, qui ajoute aussitôt :

« Qu'importe que M. Michelet ne prenne dans la science **que ce qui convient à ses idées préconçues** (...) ; de nos jours, un romancier se croit tenu de nous dire : "l'expérience est mon guide." C'est bien là ce que j'admire et ce qui me fait dire que **la philosophie des sciences fait partie intégrante du sens commun.** (...) trouvez donc de notre temps un système philosophique qui ne soit pas plus ou moins frotté de science ». (*Œuvres*, t. 2, p. 334-335).

C'est qu'il faut certes mettre l'expérience en avant, mais aussi combattre les idées préconçues : beaucoup ne verront pas autre chose dans l'ouvrage de Claude Bernard.

Pinet commente (2004, p. 69) :

« On voit, que l'esprit expérimental et **l'affirmation de la valeur de l'expérience** pour la connaissance et pour tout discours théorique existaient déjà à la parution de *l'Introduction à l'étude*

---

<sup>331</sup> Parlant de Van Helmont, in *La connaissance de la vie* (1952), Vrin, 1992, p. 113.

de] la médecine expérimentale de Claude Bernard (1865), qui **ne fait que confirmer** l'esprit qui régnait alors **en faveur de l'expérience**. »

Son auteur expérimente avec habileté, son livre pourfend l'esprit de système et porte en titre *médecine expérimentale*. L'ouvrage va pourtant bien au-delà de cette simple confirmation, et aurait même pu se nommer "*La méthode de l'hypothèse en médecine*".

La pratique du laboratoire conduit bien Pasteur à admettre un certain usage des idées préconçues, mais il paraît toujours prêt à rejeter un adversaire dans le camp des idées fixes, comme il le fait avec Claude Bernard lui-même au moment de la controverse avec Berthelot (voir partie 1.2.8.4.). "Des idées préconçues, soit, mais des bonnes !" semble être tout ce qu'est prêt à concéder un savant comme Pasteur, mais pour beaucoup, nulle idée préconçue et l'expérience seule, c'est encore mieux.

On peut estimer la réception des idées de Chevreul et de Claude Bernard par le jugement qu'apporte le *Grand dictionnaire universel du XIXe siècle* (1873) de Pierre Larousse, qui « paraît entre 1864 et 1876, sous forme de fascicules à 1 franc, et connaît un énorme succès », (*Encyclopaedia Universalis*) :

« Plusieurs savants éminents de ce temps-ci croient que l'*hypothèse* fait partie intégrante de la méthode scientifique. **M. Chevreul**, par exemple, pense que l'observation d'un ensemble de faits doit suggérer une *hypothèse* ; que **cette hypothèse doit suggérer une expérience**, et que l'expérience doit vérifier l'*hypothèse*. L'éminent chimiste admet que l'*hypothèse* fait régulièrement partie de la méthode *a posteriori*. Il y a pourtant bien des savants qui **s'en passent**.

**M. Claude Bernard** est d'un avis semblable. Voici comment il s'exprime dans son *Introduction* (...)

Nous ne sommes de l'avis **ni** de M. Chevreul **ni** de M. Cl. Bernard. Les *hypothèses*, à quelque titre qu'on les emploie, sont **plus nuisibles qu'utiles** dans les sciences.

(...) *Hypotheses non fingo*, **disait Newton**. Il faut que ce mot devienne de plus en plus **la devise** de tous les savants **dignes de ce nom** » (Article *hypothèse*, vol. 9, p. 521-522).

L'adoption des idées d'Eugène Chevreul et de Claude Bernard semble donc se heurter, en 1873, à la "devise" de Newton, qui pourtant date... de 1713.

Cette devise est une véritable "claque" donnée par Newton aux hypothèses, avec tout le poids de la main d'un vainqueur établissant à jamais, pensait-on, le vrai système du monde et dissipant les conjectures désormais risibles de Descartes, auxquelles on sentait bien après coup qu'on n'avait cru qu'à moitié. Cette claque assure ainsi pour longtemps le rejet des spéculations de l'esprit : les faits, rien que les faits, tel est désormais le mot d'ordre.

Mais en combattant les idées préconçues, pensant ainsi pourfendre les idées fixes, ce sont les idées tout court que l'on maltraite, et toute la créativité.

## 1.4.2. L'induction par extraction

Dans la continuité du blâme newtonien sur la méthode des hypothèses s'est imposée la **tétrade pédagogique** du Second Empire, fondée sur le **concret**, l'**observation**, l'**induction** et l'**activité**, que les républicains transfèrent de la maternelle au primaire et qui gagnera ensuite le secondaire, formant le "modèle standard" de la pédagogie des sciences, qui règne sans partage jusqu'au milieu du XX<sup>e</sup> siècle.

Une **conjonction pédagogique** s'opère lorsque les *méthodes actives* vont être enrôlées à leur tour dans cette marche, et les mises en garde et protestations de leurs promoteurs n'y changeront rien. Et les proclamations de l'époque contemporaine sur la valeur de la démarche hypothético-déductive, qui, depuis les années 1970, sont entrées dans une partie du discours officiel, tentent de se faire

entendre mais se révèlent peu efficaces, se heurtant à l'inertie d'un édifice empiriste et inductiviste constitué et depuis longtemps institué.

Présenter des faits, faire réaliser des expériences précises afin de "mettre en évidence" les concepts est une procédure qui s'accompagne, pour le professeur, d'une sécurité matérielle et psychologique que ne présente pas la libre expression des conceptions et des propositions des élèves : un facteur qui achève de renforcer le modèle *de facto* dominant dans les classes.

### 1.4.2.1. Les activités reines

Les *méthodes actives* vont se faire une place dans l'enseignement en général, et dans celui des sciences en particulier, bien plus aisément que les *initiatives des enfants*.

Le texte d'un des conférenciers de 1905, Eugène Caustier, illustre parfaitement le modèle pédagogique issu du Second Empire, basé sur l'induction et qui intègre l'activité des élèves :

« Par l'étude attentive de quelques **objets bien choisis**, on pourra **conduire pas à pas** les élèves des notions les plus vulgaires aux **généralisations** les plus larges. Mais évidemment il importe qu'on choisisse bien les objets et qu'on les dispose utilement dans un ordre heureux, de façon que chacun d'eux prépare le chemin pour avancer plus loin. (...) Le plus grand avantage de cette méthode, c'est que les élèves **participent** à l'enseignement, et comme ils sont heureux de découvrir **par eux-mêmes** des faits nouveaux pour eux, leur esprit reste **actif** et travaille **sans fatigue**. Et si l'enseignement a **perdu son dogmatisme**, en revanche, il est **plus animé, plus vivant** (...) ».

La suite dit bien comment traiter les idées que pourraient avoir les élèves découvrant par eux-mêmes :

« Toutefois nous reconnaissons volontiers que cette méthode n'a pas que des avantages ; elle a aussi des inconvénients. Il est certain que si l'on **n'arrête pas le développement des pensées de l'élève** en lui disant de ne pas faire de **sottes questions**, il n'y a pas de limites aux **désirs intellectuels du jeune enfant** (...). Le professeur **a beau diriger ses interrogations vers un but précis**, les jeunes imaginations ont vite fait un **écart**. C'est alors que le maître doit **éviter de les suivre** et les **ramener par un énergique coup de barre** dans la **bonne** route. Puis une fois le but atteint, c'est-à-dire la vérité positive bien **mise en évidence**, il doit résumer en quelques mots précis la discussion ». (*In Hulin, 2002, p. 314*).

Les élèves sont actifs, mais leur pensée est sur des rails et, pour plus de sûreté, c'est le professeur qui résume : ils découvrent "par eux-mêmes" comme on explorerait une contrée "par soi-même" poussé dans un chemin dont on ne pourrait s'écarter...

« Le meilleur moyen de comprendre, c'est de faire », disait Kant<sup>332</sup> après Comenius. Mais il le disait après avoir énoncé :

« la **raison** nous fait apercevoir les principes (...) sur ce qui arrive suivant la loi des effets et des causes » : faire, oui, mais pas sans raison, « faire soi-même tout ce que l'on **veut** faire ».

Dewey énonce sa célèbre formule, *Learning by doing*, dans le même sens, celui de l'action *éprouvant* la pensée.

L'omniprésence actuelle des "activités" provient des appels réitérés à la participation effective des élèves à leurs apprentissages, trop souvent en situation de simples récepteurs.

Socrate est crédité du premier exemple d'une telle sollicitation, à tel point qu'on a parlé de *méthode socratique*. Socrate questionne, mais toutes les réponses viennent cependant de lui, l'élève interrogé se contentant de suivre en acquiesçant.

---

<sup>332</sup> Kant, E. (1803). *Traité de pédagogie*, Alcan, 1886, p. 89.

Montaigne, lui, veut des périodes où on “laisse **ouvrir le chemin**” à l’élève, et qu’on ne rende pas l’entendement “servile et couard, pour ne lui **laisser la liberté** de rien faire de soi”. Et Rousseau déplore :

« vous l’accoutumez à **se laisser** toujours **conduire**, à n’être jamais qu’une machine entre les mains d’autrui ». (1762, Livre III).

Guizot, en 1811, liait le déploiement des facultés des enfants à leur *besoin d’agir* et voulait des études qui en tiennent compte.

C’est Mme Necker de Saussure (1828, 1832) qui attribue à l’*activité* une place centrale :

« Fournir des aliments continuels à l’**activité** des enfants (...) est peut-être **l’abrégé de l’éducation**. C’est là le seul moyen de faire avancer l’intelligence. (...) L’idée de tirer parti du **goût des enfants pour agir** (...) deviendra vraisemblablement un jour le **pivot principal** de l’éducation. » (1828, p. 468 et 472).

Si le vrai but de l’enseignement est de former l’intelligence, dit-elle, on doit voir l’élève

« comme une **source** à faire jaillir plutôt que comme un **vase** à remplir » (1832, p. 18).

Le terme de méthode *active*, rencontré dès les instructions pour le primaire de 1882, met l’accent, comme leur nom l’indique, sur l’activité des élèves, et cette vision de l’enseignement en général, et de l’enseignement des sciences en particulier, est devenue un lieu commun, affluent supplémentaire renforçant l’attachement au concret, à l’observation, aux manipulations et à une démarche inductive.

### ***Operatio sans Ratio***

Mais ce renforcement ne se fait qu’au prix d’un détournement, au moins partiel : à l’*operatio*, l’activité, manque souvent la *ratio*, la raison de l’entreprendre, en dehors d’une demande magistrale concernant le sujet qu’on étudie ou le problème affiché : ne demeure alors que l’*opera*, l’œuvre à effectuer sans l’avoir conçue.

Si les pédagogues des méthodes actives en appellent bien à la participation de l’élève et au rejet du verbalisme, il y a, pour eux, activité et activité, nuance balayée dans l’engouement pour l’activité *concrète* et les travaux *pratiques*.

Or, tous font appel à l’activité intellectuelle, mais cette simple mention n’est pas encore suffisante : il ne pourrait s’agir que de la réflexion portant sur ce qu’ils observent *au cours* de leur activité, et non en amont. Et les slogans, “école active”, “méthodes actives”, sont à double tranchant : on n’en retient que la réalisation, par les élèves, d’*actes* pratiques.

De nombreuses mises en garde ont été exprimées par les fondateurs des méthodes actives eux-mêmes comme par les didacticiens actuels : Dewey (1896, 1909), Binet (1909), Bovet (1919), Ferrière (1914, 1923), Claparède (1923) ou encore Piaget (1949, 1969, 1974) s’y sont employés en vain, de même que, de nos jours, Develay (1989) et Giordan (1999).

### **1.4.2.2. Un “principe d’économie”**

Un dernier aspect enfin parachève le triomphe du “bannissons les hypothèses” newtonien : débiter par l’étude des faits, ou y venir rapidement après avoir énoncé le titre de la séance ou indiqué le problème que l’on va résoudre ne nécessite pas de passer par une phase anticipatrice aventureuse.

Les enseignants, possédant la connaissance, savent qu'elle peut transparaître dans tel objet ou telle expérience. Ils sont d'ailleurs souvent spécialement friands de telle ou telle nouvelle "manip" qui va, mieux qu'une autre, mettre en évidence. La leçon de choses était déjà, en quelque sorte, une *mise en évidence permanente*.

S. Bomchil et B. Darley considèrent que chez les enseignants,

« l'idée, attrayante à plus d'un titre, que les savoirs se **fondent sur les faits** est admise comme principe de fonctionnement et renforcée par nombre de vulgarisations de l'histoire des sciences ».

« Comme toute conception, celle des enseignants à propos de la construction des savoirs scientifiques repose à la fois sur la formation qu'ils ont eue et qu'ils retransposent et sur un **principe d'économie** (elle donne satisfaction dans son utilisation courante et reste peu coûteuse tant du point de vue praxéologique que du point de vue cognitif) » (1998, p. 91).

L'activité de l'élève n'est pas instaurée à l'initiative de celui-ci, pour résoudre un problème, mais a pour but essentiel de faire en sorte qu'à travers les observations ou les expériences qu'on lui demande de réaliser, il puisse se *rendre compte par lui-même*.

On veut que l'élève *se rende compte* de ce qu'il *met en évidence*, pour obtenir, en fin de compte, qu'il se rende à l'évidence.

Le système paraît suffisant, établi, conforme à ce que font les collègues, s'il n'en est pas d'excentrique, et aux attentes des élèves ; l'inspecteur ne le remettra pas fondamentalement en cause. Beaucoup réagissent alors comme ce personnage de Voltaire à qui le savant explique que les femmes ont des ovaires et que, ainsi que l'a découvert Harvey, "tout vient d'un œuf"<sup>333</sup> :

« Mais vraiment ce système porte tous les caractères de la vérité ; il est simple, il est uniforme, il est démontré aux yeux (...) ; j'en suis fort content, je n'en veux point d'autre ».

Les élèves, au cours des activités concoctées pour eux, ne sont pas, pense-t-on, de simples récepteurs. Et les faire passer de *récepteurs* à *exécutants* est plus aisé et moins hasardeux que de récepteurs à *concepteurs*.

C'est là un facteur majeur qui fait que, depuis 50 ans (1968), les instructions officielles insistent sur la démarche hypothético-déductive, sans grande efficacité.

Nous avons vu quelle éviction subissaient les hypothèses (partie 1.1.2.4.), du fait de la peur des cheminements aventureux (partie 1.1.4.5.).

Partir d'observations ou d'expériences choisies par le professeur, ou y amener la classe permet, à partir de cette base fiable, de "monter" vers les notions à transmettre en évitant de se retrouver confronté aux conceptions et aux hypothèses des élèves ; un autre moyen étant de ne retenir que la "bonne" hypothèse au moment où elle paraît.

Bacon voulait, par exclusion, éliminer les conjectures intempestives : en classe, on ne souhaite pas laisser s'exhaler les *opinionibus volatilibus* des élèves. L'imaginaire et l'audace ne sont guère de mise.

La défiance envers les "chimères", telles celles de Descartes détruites par Newton, les "abstractions pleine de périls", les explications inattendues pouvant surgir de leurs conceptions, conduisent à vouloir enchaîner solidement l'esprit des élèves aux faits qu'on leur présente.

Rappelons ici les étapes de la pseudo-méthode expérimentale des classes de collège et de lycée en Physique décrite par Robardet et Guillaud (1997, voir partie 1.1.4.2.) : observation, mesures, mise en évidence de la loi.

---

<sup>333</sup> *L'homme aux 40 écus*, Voltaire (1768).

Le rapport sur *L'enseignement des sciences en Europe*<sup>334</sup> (2006, p. 61) signale, à propos de démarches d'investigation ouvertes impliquant la formulation d'hypothèses et l'élaboration de protocoles expérimentaux :

« des travaux menés auprès d'élèves de 15 à 17 ans montrent que de telles démarches peuvent créer un sentiment d'**insécurité** chez les enseignants et chez les élèves ».

En partant de l'idée selon laquelle le professeur qui ne ferait pas faire d'expérience sur un sujet donné serait un *dogmatique*, on en arrive à retourner la proposition en : “si je fais faire des expériences, ou à défaut un travail sur documents, je ne suis pas dogmatique”. Le professeur peut alors s'acquitter de l'essentiel de sa tâche lorsque, en rapport avec le pan du programme à traiter, il a sélectionné un fait ou une situation productrice de faits à présenter aux élèves, d'où ils extraient la notion.

Ces activités pratiques ont comme intérêt à la fois de motiver les élèves, qui vont agir par eux-mêmes, de fournir l'illusion que le savoir sort de leurs mains, de se montrer concret, dans le réel, les pieds sur terre. Et de, certainement, “faire” scientifique. Le professeur, en effet, est implicitement ou explicitement invité à enseigner selon une démarche scientifique qu'ils n'a très généralement lui-même jamais pratiquée, et il n'a pas non plus de formation épistémologique, mais même sans avoir personnellement œuvré dans un laboratoire, personne ne peut douter que s'y déroulent des observations et des expériences, ce qui assoit et légitime ce qui se déroule en travaux pratiques, quel qu'en soit l'ordre.

L'économie pratique est réelle : il s'agit de faire faire aux élèves un *constat* (à partir d'une observation, d'une manipulation ou d'un document), constat gros de la notion visée, et le choix de l'activité le permettant est aidé par les suggestions du programme ou les exemples des manuels scolaires. Nombreux sont les professeurs qui, disposant ainsi d'une série de constats se succédant dans leur programmation, peuvent nommer les séances qui s'y rapportent TP1, TP2..., et disposer ainsi de matériaux calibrés sur la durée d'une séance et réutilisables tels quels l'année suivante.

L'“économie cognitive” est aussi majeure : l'élève doit réaliser l'activité, devant mettre en œuvre pour mettre en évidence, et si l'évidence a du mal à s'extraire de l'activité, le professeur, qui maîtrise le contenu cognitif, l'y aidera par d'habiles questions. Surtout, n'en demandant pas, il n'aura pas à gérer de *propositions* d'élèves, hypothèses farfelues ou imprévues, expériences non réalisables ou non programmées. Le désir d'éviter l'inconfort de ces situations où on laisserait l'élève “trotter devant” prévaut sur l'élaboration de stratégies permettant de gérer ce libre trot.

La manière dont sont présentées les recommandations méthodologiques dans les programmes n'est pas favorable à leur lecture et à leur prise en compte : elles se trouvent régulièrement cantonnées à des préambules, mêlées à d'autres considérations générales, et, pour le professeur, le programme “réel” ne commence qu'à partir des contenus amplement détaillés et accompagnés de suggestions d'activités.

La situation, jusqu'au début des années 2000, était la suivante : des textes officiels peu lus, prônant une démarche hypothético-déductive, et, dans les classes, une démarche inductive particulière, qu'on pourrait nommer *induction par extraction*, dans laquelle les conclusions générales sont tirées du dégagement d'éléments significatifs à partir des constats réalisés.

Les auteurs d'articles et d'ouvrages de didactique, quant à eux, se reconnaîtraient dans leur grande majorité dans cette conclusion de Robardet et Guillaud (1997, p. 93) :

---

<sup>334</sup> *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. État des lieux des politiques et de la recherche*. Eurydice, le réseau d'information sur l'éducation en Europe, 2006.

« À l'**inductivisme** dont l'enseignement des sciences est encore **très imprégné**, nous avons vu qu'il serait préférable de substituer une **démarche fondée sur l'hypothèse** et la résolution de **problèmes**. L'expérience inductiviste proposée par l'enseignant devrait céder la place à l'expérience construite, discutée en partie par l'élève, dans le but de **consolider** ou d'**invalidier** des **hypothèses**. »

Si une telle substitution paraît souhaitable, il semble également important de ne pas **bannir l'induction** comme Newton a banni l'hypothèse : la détrôner ne signifie pas l'exclure. On l'utilise d'ailleurs de manière courante, par la généralisation qui va au-delà du perçu, et nous verrons qu'elle a sa place, parmi d'autres procédures, dans le pilier ascendant de "l'arche de la connaissance" (partie 2.1.2.1.).

On peut de ce point de vue distinguer un *processus* inductif menant à un "possible", voire à un "probable", qui demeure cependant à contrôler, d'une *méthode* inductive qui, voie royale de l'enseignement des sciences, établirait la connaissance.

Les nouvelles instructions semblent vouloir remettre en cause la stratégie d'induction par extraction, à en croire les *canevas* officiels et certains des exemples fournis, mais sans, cependant, qu'une formation des enseignants à cet état d'esprit soit prévue. Le problème est que, dans ce cas, ceux-ci retiennent des *slogans* : on souhaite un "enseignement par problèmes", mais on peut insérer des problèmes dans une démarche inductive, on veut aujourd'hui des "investigations", mais cela n'apparaît pas comme contraire à une succession d'observations et d'expériences à faire faire.

Le récent *Socle commun*, d'une grande importance puisqu'il s'agit d'une "disposition majeure" touchant différents enseignements et qu'il est destiné aux professeurs des deux degrés, mentionne :

« L'étude des sciences expérimentales développe les capacités **inductives** et **déductives** de l'intelligence sous ses différentes formes. »

On a vu les termes par lesquels ce socle caractérise une "démarche scientifique" : l'élève doit y « observer, questionner, formuler une hypothèse et la valider ».

Mais il n'est pas précisé où et comment, dans cette démarche, interviennent les capacités inductives et les capacités déductives.

L'hypothèse est présente, mais, puisqu'il s'agit de la valider, cela exclut toutes les propositions susceptibles de provenir des conceptions erronées des élèves, et les nombreux travaux qui en ont révélé l'existence paraissent ici ignorés. Peut-être est-ce là que l'induction trouve sa place : conduire, à partir de l'observation, à une hypothèse "légitime", probable, qu'il ne restera qu'à valider par un scrupuleux souci de vérification.

Dans l'historique des traditions méthodologiques ainsi retracé, la démarche hypothético-déductive, ou démarche de l'hypothèse, apparaît comme une troisième voie, sorte d'intermédiaire ou de compromis résultant du long affrontement épistémologique entre démarche inductive et démarche déductive.

Voie défrichée par les médecins Empiriques grecs, puis résolument empruntée par Galilée et Harvey, elle atteint son apogée conceptuelle avec Rohault (1671) le cartésien dissident et surtout Hooke, le baconien séditieux (1687), avant d'être durablement barrée par Newton, qui feint d'ignorer les hypothèses de Hooke et disperse à jamais celles de Descartes.

La "claque de Newton" aux hypothèses laisse le champ libre à la démarche inductive, qui règne alors sans partage : le monde scientifique mettra près de deux siècles à s'en remettre, le monde de l'enseignement, lui, ne s'en est toujours pas remis.

Isabelle Stengers caractérise, en 1988, cette rémission dans le champ des sciences :

« **On ne bat pas un cheval mort**, dit la sagesse populaire, et on ne trouvera nulle part dans ce livre une critique approfondie de **l'empirisme**. La vulgate d'aujourd'hui, quant à la science, est "intellectualiste", et ce, même dans les pays anglo-saxons, où les critiques de l'empirisme logique ont d'ailleurs fait leurs (...) certains thèmes d'un discours épistémologique traditionnel en France depuis Claude Bernard : **les idées, hardies, libres, inventives, mènent la science, organisent l'expérience.** » (*Les concepts scientifiques*, 1988, p. 10).

Ce jugement ne saurait s'appliquer à l'enseignement des sciences : où y déceler des idées hardies, libres, et inventives, qui mèneraient les séances de sciences, organiseraient leurs expériences ? Le cheval de l'empirisme est peut-être mort dans la recherche scientifique, mais il caracole toujours dans les classes.

Et ce, malgré les réflexions et recommandations très claires sur ce point de pédagogues de l'envergure de Dewey ou Piaget, malgré les analyses épistémologiques de Popper dans lesquelles se reconnaissent quelques scientifiques comme Einstein, Medawar, Jacob, Monod, Eccles, Mayr, Feynman... Et malgré cinquante ans de vœux pieux des instructions officielles, mêlés, certes, d'ambiguïtés.

L'engouement excessif pour l'imagination cartésienne a conduit, après sa chute, à l'aversion pour l'imaginaire et à l'engouement contraire pour l'expérience.

L'histoire des siècles ne peut se refaire, mais celle de la classe se refait tous les jours. Newton se décrivit, avec lucidité, juché sur les épaules de géants. Ces épaules, ce sont celles de Descartes et de Hooke, ce sont les épaules de la spéculation : ôtez-les, et les nains se retrouvent assis par terre.

Ces aspects ont, à toutes les époques, été pris en considération par les pédagogues, éducateurs, psychologues et didacticiens, qui ont toujours mis en avant les questions de démarche, et notamment dans l'enseignement des sciences.

## 1.5. Une formation de l'esprit par les sciences

L'acquisition par les élèves d'une attitude et d'un esprit scientifiques étant des objectifs annoncés comme majeurs, il importe de s'interroger sur ce qui les caractérise, ainsi que sur la manière d'y former.

Bacon joignait d'ailleurs lui-même dès 1605, à la description de la méthode qu'il préconise pour l'avancement des sciences, des recommandations pour son enseignement.

La formation de l'esprit y est préconisée à l'aide d'une métaphore botanique, que reprendra Comenius et dont on peut rapprocher celle que proposera Claude Bernard.

Bacon (1605) compare *méthode magistrale* et *méthode d'examen* :

« Car il en est des connaissances comme des plantes : si vous avez l'intention d'utiliser la plante, peu importent les racines, mais si vous voulez la transporter pour **la faire pousser ailleurs**, alors il est **plus sûr de se fier à des racines qu'à des boutures**. La transmission du savoir, telle qu'elle est pratiquée de nos jours, est comme la livraison de beaux **troncs d'arbres** débarrassés de leurs racines : **bons pour le charpentier, non pour le jardinier**. Au contraire, si vous voulez **que la science croisse**, sachez que le fût et le tronc sont de médiocre importance : veillez avec soin à prendre **les racines**. » (F. Bacon, 1605, p. 185).

Comenius (1632) distingue ce qui vient des élèves et ce dont on les couvre :

« On n'a pas habitué jusqu'ici **les esprits à puiser leur force**, comme les jeunes plantes, **dans leurs propres racines**. On leur a **greffé de petites branches arrachées ailleurs** et on les a parés des **plumes d'autrui** comme le Corbeau de la fable d'Esopé. » (J. A. Comenius, 1632, p. 149).

Claude Bernard (*Le Cahier rouge*, 1850-1860) remonte même jusqu'aux graines, au moment où il utilise cette formule devenue extrêmement célèbre, "il faut **apprendre à apprendre**" :

« Il ne faut pas vouloir apprendre aux jeunes gens ; il faut **leur apprendre à apprendre**. Surtout il faut jeter en eux **le germe de la science et non les fruits**. C'est comme si on mettait dans un champ des branches vertes qu'on entretient avec de l'eau ; elles mourraient ensuite. Il faut **semmer les graines, développer l'esprit et non le charger**. » (p. 154-155).

### 1.5.1. Deux esprits scientifiques

Ce qui apparaît comme fondamental dans l'*esprit scientifique* est, nous l'avons vu, historiquement variable selon les auteurs : logique déductive pour certains tel Descartes, (1637), observation des faits (Newton, 1687, Condillac, 1780), inventivité (Whewell, 1840), intuition (Einstein, 1934), *sens du problème* (Dewey, 1884 ; 1909a ; Bachelard, 1938) ou encore recherche d'objectivité (Chalmers, 1990) –sans, d'ailleurs, que ces aspects s'excluent nécessairement les uns les autres. Ces auteurs s'appuient sur ce qu'ils voient ou pensent voir à l'œuvre dans la recherche scientifique, la leur ou celle des autres.

L'enseignant bénéficie heureusement d'une vision contemporaine en grande partie consensuelle sur son déroulement : à la fin du XIX<sup>e</sup> et au début du XX<sup>e</sup> siècle s'est dégagé un schéma général du cheminement scientifique et de la pensée investigatrice (Whewell, 1860 ; Chevreul, 1865 ; Bernard, 1865 ; Popper, 1934) en même temps qu'était perçue l'importance de la transposition de cette pensée dans le domaine éducatif (Dewey, 1909).

Mais même bien avant cette convergence de vues, l'enseignement des sciences s'est trouvé, plus que tout autre et dès ses premiers textes fondateurs, chargé d'enjeux éducatifs, paré de vertus émancipatrices.

Si les sciences ne trouvaient guère leur place parmi les trois plumes du chapeau de l'instituteur itinérant de l'ancien régime, symboles de la lecture, de l'écriture et du calcul (Terral, 1999), les vibrants discours tenus du haut des tribunes révolutionnaires par Condorcet (1792) et Lakanal (1794) sur l'instruction publique les mirent au premier rang pour la formation de l'esprit. Condorcet justifie la primauté qu'il accorde aux disciplines scientifiques par le fait que, pour beaucoup d'hommes,

« l'étude, même élémentaire, de ces sciences est le moyen le plus sûr de **développer leurs facultés intellectuelles** (...). Ces sciences sont **contre les préjugés**, contre la petitesse d'esprit, **un remède** sinon plus sûr, du moins plus universel que la philosophie même. » (1792).

Pour Lakanal,

« Il est évident qu'il faut qu'ils sachent assez de physique pour n'être plus **ni trompés ni effrayés** sur les phénomènes de la nature » (1794).

On ne se limite alors pas à une portée simplement utilitaire pour les travaux des champs et des forges, et Condorcet, dernier représentant des Lumières, marche dans les pas de Rousseau, allant jusqu'à proposer tout comme lui un type de problème à soumettre aux élèves : « l'effet que l'on veut obtenir étant donné, trouver une machine qui le produise » (1791). Rousseau conseillait de procéder par "quelque question laconique" : « Comment cela peut-il se faire ? N'ajoutez rien de plus » (1762, p. 217) :

« Je lui montre **la route de la science** (...). Forcé d'apprendre **de lui-même**, il use de **sa raison** et non de celle d'autrui (...). De cet exercice continu il doit résulter une **vigueur d'esprit** semblable à celle qu'on donne au corps » (*id.*, p. 269).

Nous voilà bien dans l'optique d'une **formation de l'esprit**.

Mais la France ouvre les guerres européennes le jour même où parle Condorcet, et elles emporteront aussi le projet éducatif de Lakanal. Une tentative de mise en œuvre de leurs principes ne verra le jour qu'avec Guizot en 1833, non pas pour le peuple mais pour "l'élite urbaine des enfants du peuple" qui fréquente les écoles primaires supérieures nouvellement créées, où la lutte contre les superstitions est un des objectifs de l'enseignement scientifique (Kahn, 2001). Les proclamations sur le rôle bienfaiteur de l'initiation scientifique, là où elle existe, comme rempart contre la crédulité, les superstitions et les "préjugés populaires" se succéderont au long du XIX<sup>e</sup> siècle, pour s'éteindre, fort curieusement, au XX<sup>e</sup> (Marie Pape-Carpentier dès 1849, Octave Gréard (1868), Paul Bert (1880 et 1882) *in* Kahn, 2002a). Paul Bert dénonce ainsi la croyance dans les **effets de la lune** ou la peur des phénomènes naturels :

« avec la science, **plus de superstitions possibles**, plus d'espérances insensées, plus de ces **crédulités niaises** ».

Si, durant cette période, des déclarations sur la formation plus générale de l'esprit par les sciences se font entendre de temps à autres, nous avons vu que, dans les faits, seuls les élèves de l'enseignement secondaire et, à partir de la "bifurcation" de 1852, surtout ceux de la section littéraire, en bénéficiaient.

Le *Manuel général de l'Instruction primaire*, en 1841, voyait ainsi les bienfaits de la mise en œuvre de la loi Guizot :

« Depuis un siècle, la physique et la chimie ont fait des progrès incroyables. Ces deux sciences (...) qui, il n'y a pas si longtemps encore, étaient un **objet de terreur** pour le peuple ignorant, sont devenues tout à fait

populaires. **Il n'est plus permis (...) d'être ignorant**<sup>335</sup> sur ces deux parties des sciences (...). L'ouvrier, j'entends l'ouvrier intelligent qui ne veut pas passer sa vie comme une machine, (...) doit savoir ce que c'est qu'un élément, et **se moquer de ces quatre éléments des anciens**, qui ont pourtant traversé tant de siècles. Il saura donc que ni l'air ni l'eau ne sont des éléments. (...) Il **saura expliquer** les phénomènes de la combustion, de l'oxydation... »<sup>336</sup>.

Un savoir, donc, à visée *explicative* et nettement, sur ces exemples, sans but utilitaire, l'ignorance du caractère non élémentaire de l'eau ou du mécanisme de l'oxydation étant peu susceptible d'entraver le travail des ouvriers.

Des mentions concernant "l'esprit scientifique" chez les élèves apparaissent dans le courant du XX<sup>e</sup> siècle. Ainsi Claude Bernard écrit-il en 1865 (p. 296) :

« Il faut inspirer avant tout aux jeunes gens **l'esprit scientifique** ».

Lorsqu'il parle d'*apprendre à apprendre*, à la fois dans son *Cahier rouge* et dans les *Principes de médecine expérimentale* (p. 216), il précise que c'est *comprendre* qui importe avant tout :

« Je ne suis pas partisan du travail outré dans la jeunesse, et surtout de ce travail où l'on apprend plus qu'on ne peut comprendre. **Il vaut mieux savoir moins et bien comprendre** que de savoir beaucoup et ne pas comprendre ». (*Principes*, p. 218).

Lorsque peu après, les sciences deviennent obligatoires (1882), le docteur Élie Pécaut, qui vient d'achever ses études médicales, exalte dans le dictionnaire de F. Buisson l'étude des sciences à l'école, et préconise la propagation de la méthode expérimentale dans les apprentissages (Dubois, 2007)<sup>337</sup>. Il écrit dans la *Revue pédagogique* de juin 1883 :

« Le **don vraiment précieux**, inestimable entre tous, c'est de susciter en [l'enfant] cet **esprit de libre examen** (...) que l'on nomme **l'esprit scientifique**. » (É. Pécaut, *in* Kahn, 2002a, p. 122).

C'est l'époque où John Dewey (1884), qui eut une influence considérable dans le domaine des réflexions sur l'éducation, souligne que la caractéristique de l'esprit *non-scientifique* est le fait de ne pas avoir conscience des problèmes.

« L'histoire de toute la science démontre que l'essentiel de son progrès consiste à mettre en lumière des problèmes. Le manque de **conscience des problèmes**, plus encore que le manque d'habileté à les résoudre, est la caractéristique de **l'esprit non-scientifique** (*non-scientific mind*). »

Dewey propose comme idée unificatrice pour l'enseignement « cette **attitude de l'esprit**, cette **habitude de la pensée**, que l'on nomme **scientifique**. » (1909a, p. iii).

Édouard Claparède, en 1919, se référant au succès de l'école fondée une vingtaine d'années auparavant par Dewey, ainsi qu'à celles créées par le D<sup>r</sup> Decroly et Mme Montessori, fait le point sur « les nouvelles conceptions éducatives ». Elles impliquent « une préparation spéciale des futurs éducateurs » :

« (...) d'abord, pour les mettre au courant des résultats des recherches psychologiques (...) ; et en second lieu, pour leur donner à eux-mêmes, autant que possible, **l'esprit scientifique** ».

---

<sup>335</sup> Cette formule ancienne (1841, *Manuel général de l'Instruction primaire* n°6, Hachette) s'appliquait donc d'abord aux sciences, avant d'être reprise et étendue aux autres matières : Gréard 1875, Ferry 1882, Bérard 1923, Chevallard 1996, Meirieu 2003, Lelièvre, 2004.

<sup>336</sup> *Id.*, p. 163-164, cité *in* Kahn (2002) p. 22.

<sup>337</sup> Dubois, P. (2007). « Configurations et figurations d'une « science de l'éducation » dans le *Dictionnaire de pédagogie* de Ferdinand Buisson ». Actes du Congrès de l'AREF 2007, Strasbourg, [http://www.congresintaref.org/actes\\_pdf/AREF2007\\_Patrick\\_DUBOIS\\_341.pdf](http://www.congresintaref.org/actes_pdf/AREF2007_Patrick_DUBOIS_341.pdf)

« C'est pour répondre à ce desideratum que nous avons créé à Genève, en 1912, l'Institut J. J. Rousseau, qui est à la fois une école des sciences de l'éducation (...) et un laboratoire de recherches. »

Édouard Claparède, médecin rompu à la méthode expérimentale, rappelle ainsi l'un des éléments majeurs qui présida, deux siècles après la naissance de Rousseau, à la fondation de l'institut genevois portant son nom, première institution au monde entièrement dévolue à la recherche éducationnelle et dont la *Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation* est l'héritière directe. Il y développe, et avec lui son élève également biologiste, le jeune Jean Piaget, des idées sur l'esprit scientifique qui n'ont rien perdu de leur vigueur, et qui résument l'essentiel de notre projet.

### Qu'est-ce que l'esprit scientifique ?

Pour Claude Bernard,

« Le premier mouvement de l'**esprit scientifique** est une **hypothèse** ou une **idée a priori** à l'aide de laquelle l'**esprit s'élanç**e au-delà du fait brut » (*Principes*, p. 77).

Édouard Claparède (1919) définit ainsi cette forme de pensée :

« l'**esprit scientifique**, c'est-à-dire l'aptitude à **s'étonner** devant les faits (...), le désir de **questionner** ces faits, et **d'essayer d'obtenir une réponse** en leur appliquant l'observation méthodique et l'expérimentation. »

Le titre même l'article de 1919 reflète sa vision de l'esprit scientifique :

« Les nouvelles **conceptions** éducatives et leur **vérification par l'expérience** »

La pédagogie nouvelle qu'il prône est basée sur des méthodes « développant l'initiative, l'indépendance d'esprit et le sens critique ».

### Deux professeurs de physique du secondaire des années 1930 : Bachelard, Popper.

Évoquer l'esprit scientifique et sa formation c'est, bien sûr, se référer à Gaston Bachelard, enseignant de physique-chimie adepte de méthode active, consterné par l'intérêt de ses élèves pour les belles explosions qui roussissent la superbe barbe du professeur (Ginestier, 1965, p. 7), devant les jeunes victimes de la science aux blouses percées à l'acide (Bachelard, 1938, p. 39). Dans le même temps, il déplore la présentation positiviste du savoir par les manuels scolaires : les faits, rien que les faits, repoussant en appendice les hypothèses :

« combien de ces livres rigoureux eussent paru plus clairs avec l'autorisation de les lire en sens inverse » (1935, p. 86).

Tandis que les réformes de l'enseignement secondaire, minimisant la part des *problèmes*,

« méconnaissent le sens réel de l'**esprit scientifique** » (1938, p. 40).

Assurément, cet esprit ne se forme ni dans l'engouement pour « les beuglements de la flamme », pour l'activité pittoresque, ni dans l'accumulation de faits exemptés des problèmes et des hypothèses.

Devenu professeur de philosophie, il publie en 1934 *Le nouvel esprit scientifique*, tandis que la même année et sur le même thème un autre professeur de physique du secondaire, Karl Popper,

publie à Vienne *La logique de la découverte scientifique*, qui aura un retentissement au moins égal. Les deux ouvrages commencent de la même manière en considérant l'esprit scientifique dans ses rapports avec le jeu de la libre pensée comme avec celui du recours aux faits. Bachelard indique d'emblée que la culture scientifique repose sur deux attitudes philosophiques contradictoires : le rationalisme et le réalisme, la pensée et le monde extérieur, deux aspects, l'un subjectif, l'autre objectif (Bouty 1908), « tranquillement associées dans un esprit scientifique moderne » (1934, p. 5), leur alliance engendrant et le doute, et la correction des jugements selon un bénéfice réciproque déjà annoncé par Diderot (1753, voir partie 1.2.7.1.).

Il résume l'année suivante :

« L'esprit scientifique est pour le moins **double** suivant qu'il accentue le côté théorique ou le côté expérimental de la connaissance » (1935, p. 6).

Dans le dialogue entre les deux, le sens de ce qu'il nomme le *vecteur* épistémologique lui paraît net :

« Il va sûrement du rationnel au réel et non point, à l'inverse, de la réalité au général comme le professaient tous les philosophes depuis Aristote jusqu'à Bacon. » (1934, p. 8).

Ce qu'il dit ailleurs plus simplement en une formule fulgurante :

« On ne voit que parce qu'on prévoit » (1929, p. 52).

La première phrase de Popper y fait écho :

« Un savant, qu'il soit théoricien ou praticien, propose des énoncés (...) et les teste pas à pas. » (1934, p. 23).

Il y a pour lui un stade initial conceptuel, psychologique, créatif, conduisant à une théorie par le jaillissement d'une inspiration, puis les *tests consécutifs à cette inspiration*, jugement critique par lequel le savant la modifie ou la rejette (1934, p. 27-28).

Il dissocie dans l'esprit scientifique les parts *psychologique* et *logique* de la connaissance :

« Je distinguerai donc soigneusement le processus de conception d'une nouvelle idée, des méthodes et résultats de son examen logique. » (1934, p. 27).

Ainsi, chaque découverte contient un "élément irrationnel" ou une "intuition créatrice" pour laquelle il n'y a pas de voie logique (Nicolle 1932, Einstein 1934), qui mène à ce que Bachelard nomme "la philosophie du *pourquoi pas*" (1934, p. 10), l'idée d'un possible, la saisie par l'imaginaire de *ce qui peut être vrai* (Medawar, 1967 et 1972 ; Jacob, 1981 et 1997) qui sera ensuite mis à l'épreuve – de ce point de vue, Bachelard insiste sur la rectification d'erreurs (1938, p. 10).

Popper rejoint Reichenbach (1938) qui distingue « procédure de découverte » et « procédure de justification » d'une hypothèse (1934, p. 320).

Henri Poincaré déjà (1905) distinguait "deux sortes d'esprits" : la logique, *instrument de la démonstration*, et l'intuition, *instrument de l'invention*, "contrepois ou contrepoison de la logique".

Cette dichotomie est mise en avant, dans le domaine de l'éducation, dans le numéro des *Cahiers pédagogiques* consacré à *la formation de l'esprit scientifique* que coordonne G. Gohau (1976), qui parle des *deux esprits scientifiques* : le **premier esprit scientifique**, l'esprit de recherche, de découverte, et le **second esprit**, l'esprit logique, les élèves ne pouvant acquérir ni l'un ni l'autre dans l'enseignement scientifique que domine l'optique empiriste. Victor Host exprimait, en 1973, son intuition de cette dualité :

« **Un esprit scientifique** se reconnaît d'une part à la curiosité, à la capacité de s'étonner devant tout fait que le savoir antérieur ne permettait pas de prévoir, d'autre part à la volonté de chercher une réponse au lieu de se contenter d'hypothèses non vérifiées. » (Host, 1973).

Host (1980) repère plus précisément, dans un article sur *Les opérations intellectuelles en activités d'éveil scientifiques*, une alternance, dans l'activité scientifique de l'enfant, de phases divergentes d'investigation, de foisonnement de l'imaginaire, et de phases convergentes permettant la confrontation et le contrôle.

Dagognet (1966, p. 18) relevait également ce double aspect chez Claude Bernard, qui célèbre à la fois le jaillissement inventif et la prudence soupçonneuse du vérificateur.

Ces deux esprits scientifiques paraissent donc être des composantes fondamentales, habituellement regroupées sous le terme "esprit scientifique".

Former l'esprit, ou, mieux, les esprits scientifiques de l'élève c'est donc, en un mot, le placer dans des situations d'enseignement lui permettant d'allier l'audace d'anticiper sur les faits à l'élégance de s'y soumettre, faire qu'il trouve avec l'intuition, puis prouve avec la logique.

Bachelard relève d'autres caractéristiques de l'esprit scientifique : le doute (1934, p. 152) qui en est une composante essentielle depuis Descartes (1637) et dont Claude Bernard (1865, I-II-III et I-II-VI) faisait un précepte fondamental.

Pour Claparède :

« Seul le doute provoque l'expérience » (1905, p. 34).

La recherche de l'objectivité également, que Bachelard estime être une « tâche pédagogique difficile » (1934, p. 15), qui se heurte à divers obstacles épistémologiques (1938, chapitre I).

Autre caractéristique pour Claude Bernard :

« L'esprit vraiment scientifique devrait donc nous rendre modestes et bienveillants. » (1865, p. 72).

*L'esprit critique* apparaît fréquemment lié à l'esprit scientifique, depuis Claude Bernard (1865, I-II-IV) qui prônait la non-soumission à l'autorité des doctrines comme des personnes et pour qui la *liberté de l'esprit* était le second précepte fondamental après le doute, jusqu'à Paul Lévy (1970, p. 185-186) qui voit dans l'esprit scientifique le moyen pour les hommes de réexaminer sans cesse les fondements de leurs croyances, et de ne pas croire aveuglément ce qu'on leur a appris dans leur enfance.

Les manifestations internationales les plus récentes centrées sur l'esprit scientifique n'omettent pas cet aspect : ainsi l'appel à contribution du colloque international "Construire l'esprit scientifique" (*Building the Scientific Mind*, La Haye 2005, organisé sous le patronage de l'UNESCO) mentionne-t-il que cet esprit est en rapport avec le fait de ne pas considérer les choses comme admises, de questionner toute "vérité" donnée, d'être inflexible et méthodique dans le questionnement (Syring, 2005). À l'occasion du lancement du Prix *puRkwa* (*pourquoi* en phonétique), prix international pour le développement de l'esprit scientifique chez les enfants récemment créé sous l'auspice des Académies des sciences française et des États-Unis, Georges Charpak (2004) rappelait que le doute et le questionnement constituent la base de l'esprit scientifique, et Claude Cohen-Tannoudji (2004), autre Prix Nobel de Physique, soulignait la fécondité de la *démarche scientifique* pour développer chez les enfants le goût du raisonnement et de la discussion critique.

Philosophes et scientifiques mettent ainsi en avant la valeur éducative potentielle de l'enseignement des sciences pour la formation de l'esprit scientifique et critique, en particulier à travers la manière dont les élèves peuvent entreprendre la *résolution de problèmes* et vivre des *démarches scientifiques*.

Deux composantes majeures se distinguent donc dans l'esprit scientifique : le **premier esprit scientifique**, esprit de recherche, de découverte, d'exploration, de création, d'imaginaire, de liberté (Cl. Bernard), voire d'audace (Popper), et le **second esprit scientifique**, où dominant le doute, l'esprit critique et l'esprit de contrôle.

Le premier esprit, en quelque sorte, part *en quête*, tandis que le second *enquête*.

Ce ne sont pas cependant les seuls caractères de l'esprit scientifique : la curiosité, l'étonnement en font également partie, encore qu'ils puissent constituer le premier esprit scientifique, dès lors que curiosité et étonnement signifient interrogation.

Inversement, ces diverses composantes, tels l'esprit créatif ou l'esprit logique, s'exercent grandement hors du domaine des sciences.

Nous proposons cependant la synthèse suivante, en subdivisant encore chacun des deux esprits :

| COMPOSANTES MAJEURES DE L'ESPRIT SCIENTIFIQUE |                             |   |
|---|-----------------------------|---|
| 1   | Premier esprit scientifique | <b>Élan</b> : esprit de recherche, de découverte, d'exploration, de questionnement, conscience des problèmes (Dewey)  |
|   | ou<br>"esprit de quête"     | <b>Esprit créatif</b> , imaginaire, liberté de l'esprit (Cl. Bernard), audace (Popper), intuition (Einstein)  |
| 2   | Second esprit scientifique  | <b>Doute</b> , circonspection, esprit critique  |
|   | ou<br>"esprit d'enquête"    | <b>Esprit de contrôle</b> , d'examen, d'enquête, rigueur, cohérence, esprit logique, souci d'objectivité (Bachelard), modestie face aux résultats (Cl. Bernard) |

Les deux aspects essentiels dont nous nous préoccuperons dans notre étude sont l'esprit créatif, et notamment la genèse des hypothèses, et l'esprit de contrôle, qui permet la mise à l'épreuve de celles-ci.

Illustrons cette double préoccupation par une double référence significative :

Claparède publie en 1933 *La Genèse de l'Hypothèse* –les majuscules sont de Piaget, quand il parle de cet ouvrage de son maître dans l'hommage qu'il lui rend à sa disparition<sup>338</sup>. Dans son avant-propos, Claparède indique :

« Des remerciements doivent être aussi adressés à **M. Piaget** (...). J'espère qu'il donnera suite à **son projet** de reprendre nos procès-verbaux pour étudier la façon dont s'accomplit **le contrôle de l'hypothèse**, question qui a été laissée en dehors du cadre de cette étude. »

<sup>338</sup> Piaget, J. (1941). *La psychologie d'Édouard Claparède*, in Claparède, E. (1905 [1967]), p. 11.

M. Piaget, pris par d'autres études, ne donna pas suite à son projet, mais dans un texte sur *La formation de l'esprit expérimental* (1965, p. 73-74), ce sont bien ces deux aspects qu'il regrette de ne pas voir éduquer :

« (...) répéter des expériences déjà faites est (...) **fort éloigné** d'une éducation de **l'esprit d'invention** et même d'une formation de **l'esprit de contrôle** ou de vérification. »

Si Piaget avait poursuivi l'étude entreprise avec son maître, nous disposerions de *La Genèse de l'Hypothèse* par M. Claparède, suivi de l'étude sur *Le Contrôle de l'Hypothèse* par son élève M. Piaget, deux volumes qui composeraient peut-être un traité sur **l'esprit scientifique** –mais pour Claparède, cela va même au-delà, recouvrant tout **l'acte d'intelligence**, titre de sa première partie, qui débute ainsi :

« Le but de ce travail est de jeter un peu de clarté sur la façon dont opère l'intelligence lorsqu'elle accomplit ce qui est sa fonction propre : **la solution d'un problème**. » (1933, p. 3).

Problème, genèse puis contrôle de l'hypothèse –et même, comme on le constate à la lecture de l'ouvrage, *des hypothèses* : l'essentiel est dans ces grandes idées, et nul doute que Claparède eût souhaité que les concepteurs des programmes d'enseignement scientifique les retiennent davantage.

## 1.5.2. L'apport des psychologues et des pédagogues

C'est dans la lignée de Rousseau que se sont inscrits les pédagogues initiateurs ou promoteurs des **méthodes actives**, du **constructivisme** ou encore de **l'enseignement par problèmes**, et parmi ceux-ci, les plus influents furent probablement John Dewey, Édouard Claparède et Jean Piaget.

Dewey, par exemple, rend fréquemment hommage à Rousseau, citant et commentant dès la première phrase de son ouvrage *Les écoles de demain* (1915) la préface de *l'Émile* à propos des fausses idées que l'on se fait sur les enfants et leurs capacités, à l'appui de sa vision de l'éducation non comme une contrainte externe mais comme :

« le développement de capacités dont les humains sont dotés à la naissance ».

Dans les classes actuelles, les séances sont centrées sur les activités, et partout l'on proclame que les élèves ne doivent plus être des spectateurs passifs.

Ces trois pédagogues ont aussi en commun d'avoir été marqués par la théorie de Darwin, et ils voient l'apprentissage comme un processus adaptatif de restauration d'équilibre après une perturbation. Bien que cela soit sans signification, Dewey naît justement l'année de la publication de *De l'origine des espèces*.

Mais une autre source de leur pensée est Charles Sanders Peirce (1839-1914), « un des plus grands philosophes de tous les temps » pour Karl Popper<sup>339</sup>, qui a donné des *lectures* sur *la logique de la science* à Harvard dès 1864.

### 1.5.2.1. La surprise à la source du questionnement : Peirce

Peirce joue un rôle pivot important : il affirme d'une part son admiration pour Whewell dans ses *Harvard Lectures* (1869)<sup>340</sup>, estimant que sa philosophie tenait sa consistance à la fois de sa pratique de recherche scientifique et de sa grande connaissance de l'histoire des sciences,

<sup>339</sup> Cité par James Bird, "A Giant's Voice from the Past," *Times Higher Education Supplement*, 8 Sept. 1989.

<sup>340</sup> *Writings of C. S. Peirce*, vol. 6, Indiana University Press, 1982, p. 337.

« travail dont je n'ai jamais entendu parler sans admiration par quiconque connaissant le sujet »,

et il exercera d'autre part une grande influence sur son élève, le grand pédagogue John Dewey, qui lui doit sa *théorie de l'enquête*, et, à travers et avec ce dernier, sur Claparède, Piaget et Karl Popper.

L'épistémologue Robert E. Butts souligne le fait que Peirce était le seul, parmi les philosophes créatifs de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et du début du XX<sup>e</sup>, à connaître de manière approfondie les travaux de Whewell et à les apprécier davantage que la théorie de Mill sur la méthode scientifique (1968, p. vii).

Pour Peirce, un scientifique débute une enquête devant un fait étonnant, un effet dont il ne détient pas la cause ou l'explication immédiate. Peirce nie que l'on puisse partir, comme le prétend Descartes, du doute absolu, et affirme la fécondité du doute relatif, qui pourrait se résumer à un "je doute, donc je pense" : un état instable de la pensée initie une quête de solution, qui cessera avec le retour à un état stable.

« Le doute est un état insatisfaisant et incommode duquel nous luttons pour nous libérer et parvenir à l'état de conviction (*belief*) ; tandis que ce dernier est un état calme et satisfaisant auquel l'on ne souhaite pas se soustraire, ni changer pour une conviction en autre chose. » (1877)<sup>341</sup>.

Un dérangement proche de celui que Socrate faisait subir à son interlocuteur ou à son élève, qu'il plaçait dans la « torpeur » (*Ménon*, 84b).

« Toute recherche quelle qu'elle soit prend sa source dans l'observation (...) de quelque **phénomène surprenant**, de quelque expérience qui ou bien déçoit une attente ou bien rompt quelque habitude d'attente de *l'inquisiturus* (l'enquêteur). **La surprise est à la source du questionnement** du chercheur » (1908)<sup>342</sup>.

Pour se sortir de sa situation inattendue, le chercheur met en avant :

« une **conjecture** qui fournit **une explication possible** ».

Soit une hypothèse. C'est l'induction, dit Peirce avant 1900, qui y mène, allant des effets à une cause possible, mais il nommera ensuite ce passage « rétroduction » puis « **abduction** »<sup>343</sup>. Sa théorie de la connaissance comporte alors trois étapes : abduction, déduction, induction.

L'abduction mène à une hypothèse, mais celle-ci doit être testée (*The hypothesis must be tested*). Pour cela, la **déduction** en tire les conséquences expérimentales. À partir des résultats accumulés, l'induction se prononce :

« L'objet de la **déduction**, le recueil des **conséquences de l'hypothèse**, ayant été suffisamment accompli, **l'enquête** entre dans sa **troisième étape**, celle du constat de la distance entre ces conséquences et l'expérience, et, en fonction, du **jugement sur l'hypothèse** : si elle est **sensiblement correcte**, ou nécessite quelques **modifications** non essentielles, ou doit être entièrement **rejetée**. »<sup>344</sup>

L'abduction génère des conjectures dont la déduction tire les conséquences, et que l'induction évalue.

Ian Hacking (2001), professeur au Collège de France, relie ainsi Peirce à Whewell :

« La méthode hypothétique était un lieu commun pendant tout le XIX<sup>e</sup> siècle depuis l'époque de **Whewell**, et a

<sup>341</sup> *The Fixation of Belief*, *Popular Science Monthly* 12 (November 1877), p. 1-15.

<sup>342</sup> *The Essential Peirce*, t. 2, Indiana University Press, 1998, p. 434-450.

<sup>343</sup> Riemer, I. (1996). "Hermeneutic aspects in the light of Peirce's methodology", in Colapietro, V. M. (ed.) et Olshewsky, T. M. (ed.). (1996). *Peirce's Doctrine of Signs. Theory, Applications, and Connections*, Mouton de Gruyter, p. 394.

<sup>344</sup> *The Essential Peirce*, p. 442.

conquis **une place centrale**, sous le nom d'« abduction », dans la philosophie de Charles Sanders Peirce. » (p. 265).

### 1.5.2.2. Learning by Dewey : l'enquête hypothético-déductive

John Dewey (1859-1952), qui eut une influence considérable dans le domaine des réflexions sur l'éducation, reprend et personnalise ces éléments. Il affirme sa conviction que l'attitude native de l'enfance,

« marquée par la curiosité ardente, l'imagination fertile et l'amour de l'investigation expérimentale, est **proche, très proche**, de l'attitude de l'**esprit scientifique** » (1909a, préface de *How we think*, p. iii).

Il prend donc comme modèle pour l'éducation en général le mode de pensée scientifique, érigé en idée unificatrice.

Dans *Comment nous pensons* (1909b, p. 20-21), il illustre “les éléments de la pensée réfléchie” par l'exemple d'un homme qui, « dans une contrée inconnue, arrive à un croisement de route », ce qui nous rappelle la croisée des chemins à laquelle, selon Bacon, on peut se retrouver lors d'une recherche (1620, II, 36) : Dewey dit *a branching of the roads* là où Bacon écrivait *viarum separationes*. Ce dernier dit qu'alors son “instance de la croix” ou cruciale, procédure qui consiste à avancer des hypothèses et à les tester, est comme un poteau indicateur dressé à l'intersection. Dewey, lui, dit qu'il faut alors grimper à un arbre pour y voir plus loin, pour “voir de nouveaux faits” par une observation ou une expérience nouvelle permettant de savoir à quoi s'en tenir par rapport à une direction possible envisagée. Tout se passe comme si le recours au test d'hypothèse, présent mais marginal chez Bacon qui ne s'en sert qu'à certaines bifurcations, était déplacé par Dewey, qui lui attribue un rôle prépondérant, au centre de l'investigation : Dewey recentre le poteau de Bacon, et y grimpe pour, comme lui, apercevoir la suite du chemin.

« L'analyse d'un acte complet de pensée » comprend, selon Dewey, cinq étapes :

- 1° une **difficulté à résoudre** ;
- 2° sa localisation et sa définition [étape souvent confondue avec la 1°] ;
- 3° suggestion d'une **solution possible** ;
- 4° développement par **raisonnement** de la portée (*bearings*) de la suggestion ;
- 5° **observations** et **expériences** supplémentaires conduisant à **adopter ou à rejeter** cette suggestion, c'est-à-dire à **conclure** pour ou contre. » (1909a, p. 72 et 1909b, p. 99).

Dewey précise que les deux premières étapes sont souvent confondues, en fonction de la plus ou moins grande facilité à appréhender « la difficulté ou le problème », il peut d'abord falloir encaisser « un embarras mal défini, un choc ».

Il définit le **problème** comme étant :

« tout ce qui (...) déconcerte et excite l'esprit, au point de rendre l'opinion incertaine ».

Comme pour Peirce,

« la pensée a son origine dans un état de confusion ou de doute. » (1909b, p. 22).

L'enfant, lorsqu'il rencontre un problème à résoudre, commence par élaborer une stratégie, et non par se lancer dans une activité :

« Si une difficulté apparaît, il faut pour l'aplanir qu'il y ait **d'abord une suggestion** représentée par un **essai de plan**, ou une **tentative de projet**, ou par l'examen d'une théorie qui fournisse une explication ou quelque solution acceptable du problème. » (1909b, p.23).

## La morsure d'une question

Une « réelle perplexité » s'emparant d'un esprit, Dewey déclare qu'alors :

« le choc, **la morsure d'une question** (*the shock, the bite, of a question*) force l'esprit à aller partout où il peut, mieux que le meilleur procédé pédagogique que n'accompagnerait pas une telle ardeur mentale. C'est le **sens du problème** qui force l'esprit à une inspection (*survey*) et un rappel du passé pour découvrir ce que signifie la question et comment l'aborder. » (1909a, p. 207).

Cette morsure engendre l'hypothèse :

« La suggestion (...) est plus ou moins spéculative, aventureuse. Comme l'inférence dépasse le présent actuel, elle suppose **un bond en avant**, un saut dans l'inconnu (...). Dans la mesure où elle n'est pas adoptée, mais simplement admise à l'essai, la conclusion suggérée constitue une idée. Les termes équivalents sont : *supposition, conjecture, présomption, hypothèse* (...). Chercher à multiplier les **suggestions alternatives** est un élément important d'une bonne activité de pensée » (1909b, p. 103).

On ne s'en tient donc pas à une seule hypothèse. D'ailleurs,

« on découvre souvent que des conjectures qui, à première vue, semblent plausibles, sont impropres, absurdes même, si l'on en envisage toutes les conséquences. (...) Des suggestions de prime abord sans valeur et fantaisistes peuvent, après examen attentif de leurs conséquences, se modifier à un point tel qu'elles conviennent pour le cas donné et sont fécondes. » (1909b, p. 104).

Puis vient le raisonnement :

« si l'idée est adoptée, certaines conséquences s'ensuivent ». (1909b, p. 105).

Enfin,

« L'étape consistant à conclure est une espèce de corroboration expérimentale, ou une vérification de l'idée conjecturée. (...) Parfois (...), l'observation directe corrobore (*furnishes corroboration*) ; parfois (...) une expérience est nécessaire » (1909a p. 77).

Les étapes proposées en 1909 par Dewey ressemblent de près à celles avancées par Claude Bernard en 1865. Ce dernier poursuivait, après l'énumération de ces étapes :

« **L'esprit** du savant se trouve en quelque sorte toujours **placé entre deux observations** : l'une qui sert de point de départ au raisonnement, et l'autre qui lui sert de conclusion. » (1865, p. 54).

Et Dewey écrit de même, après sa description des étapes :

« L'acte de **penser s'intercale**, au début et à la fin, **entre les observations**. (...) Au début pour déterminer d'une manière plus définie et plus précise la nature de la difficulté à résoudre, à la fin pour s'assurer de la valeur d'une conclusion tirée par hypothèse. C'est **entre ces deux étapes de l'observation** que nous trouvons les deux aspects **mentaux** (...) : 1° (...) la suggestion d'une explication ou d'une solution ; 2° le raisonnement » (1909b, p. 105-106).

Il décrit le jeu entre expérience et raisonnement qui se renvoient la balle : la raison requiert une expérience pour être confirmée, tandis que l'expérience ne peut qu'être conduite par la raison :

« **Reasoning requires some experimental** observation to confirm it, while **experiment** can be (...) **conducted only** (...) **by reasoning** » (1909a, p. 78).

Dewey anticipe là les formules de Bachelard (1934) et de Canguilhem (1942) que nous avons

relevées<sup>345</sup>.

Plutôt que le cycle abduction – déduction – induction que Peirce proposait, Dewey décrit un “acte complet de pensée” comme composé d’une induction, “mouvement ascendant *vers* la suggestion ou l’hypothèse” (comparable à l’abduction de Peirce) suivie d’une déduction, “mouvement descendant de *retour* vers les faits”.

« Le mouvement inductif va à la *découverte* d’un principe synthétique ; le mouvement déductif va vers le *test* de ce principe -le **confirmant**, le **réfutant**, le **modifiant** » (1909a, p. 81-82).

Dewey adhère à la vision de Whewell et utilise le terme “induction” dans le même sens, qui n’est pas celui d’une montée graduelle : pour Whewell, l’induction bondissait audacieusement en haut de l’escalier, jusqu’à l’hypothèse, avant la déduction scrupuleuse, et Dewey voit aussi dans la pensée un acte allant au-delà du connu.

« Elle est comparable à **un bond**, à **un saut**, qui nous fait passer d’une chose connue à une autre que nous **adoptons sous caution**. (...) C’est précisément parce que ce bond, ce saut dans l’inconnu est **inévitable** que s’impose la nécessité d’être attentif aux conditions dans lesquelles il se produit, afin de diminuer le danger de chute et d’augmenter les chances d’atterrissage heureux. » (1909b, p. 40).

Dewey ajoutera plus tard :

« cette formulation s’accorde jusqu’à un certain point avec les énoncés actuels sur la nature **hypothético-déductive** de l’enquête scientifique » (*Logique, la théorie de l’enquête*, IV, 21).

Il inaugure ainsi semble-t-il, en 1938, l’usage du terme composé *hypothético-déductif*.

Le philosophe contemporain Hans Reichenbach décrit en ces termes “la théorie de la science de Dewey” :

« Il utilise le terme global “méthodes **inductives**” pour les procédures variées qui conduisent des **données d’observation** aux **assomptions hypothétiques** ; inversement, par des méthodes **déductives**, de nouvelles **prédictions** observationnelles sont **inférées de l’hypothèse**, dont le **test confirme ou désapprouve** les assomptions hypothétiques. L’enquête scientifique est ainsi **hypothético-déductive**. » (1939, p. 183).

### **Corroborer ou réfuter par des tests serrés**

Beaucoup de concepts développés par Dewey se retrouvent chez Popper, souvent avec le même vocabulaire : l’insistance sur les problèmes, l’importance des hypothèses ou conjectures, leur mise à l’épreuve par des tests sévères qui aboutit à les corroborer ou à les réfuter.

Le verbe *corroborer* est de nos jours fréquemment utilisé, et son sens moderne est attribué à Popper :

« J’ai introduit les termes **corroboration** (« *Bewährung* ») et particulièrement *degré de corroboration* (...) pour exprimer le degré auquel une hypothèse a résisté à des **tests sévères** » (1934, p. 256).

Dans ce sens, il lui est en effet imputé dans l’article *sciences* de l’*Encyclopaedia Universalis* (bien qu’on le trouve auparavant chez Mill (1843, IX, 3) et, concernant la preuve judiciaire, chez Bentham (1827)<sup>346</sup>).

Dewey utilise cependant bien le même vocabulaire, dans le même sens :

---

<sup>345</sup> Bachelard (1934) [sur l’activité scientifique] : *si elle expérimente, il faut raisonner ; si elle raisonne, il faut expérimenter*. Canguilhem (1942) : *Il faut la raison pour faire une expérience et il faut l’expérience pour se faire une raison*.

<sup>346</sup> *Rationale of Judicial Evidence*, t. 3, Hunt et Clarke, p. 80.

« (...) les diverses méthodes d'investigation permettant de découvrir les matériaux nouveaux capables de **corroborer** ou de **réfuter** les suggestions spontanées » (*to corroborate or to refute*),

« éprouver de la plus **sévère** façon » (*try in the severest fashion*),

« **test** ou essai **serré** » (*a test or trial of strenght*)  
(1909b, p. 24 et 41 ; 1909a, p. 13 et 27).

Dewey voit donc comme essentielle la transposition du cheminement scientifique et de la pensée investigatrice dans le domaine éducatif.

### 1.5.2.3. Claparède : question, hypothèse, contrôle

En Europe, Édouard Claparède (1873-1940) préface longuement, en 1913, la traduction de plusieurs des articles de Dewey en établissant les connexions avec sa propre pensée (Schneider, 2000). Lui-même médecin devenu psychologue et pédagogue, il en appelle dès 1905, pour l'éducation, à l'esprit scientifique et à son objectivité, dans cette Genève savante qui possède une tradition de recherche expérimentale (Hameline, 1993), où la "méthode de l'hypothèse" a été défendue par George-Louis Le Sage (partie 1.2.7.3.) et où les principes de la méthode expérimentale ont été exposés par Jean Senebier.

C'est aussi la ville où s'est illustré l'oncle biologiste de Claparède, René-Édouard, venu à Paris pour y être couronné par l'Académie des Sciences (1861) en pleine période de gloire de Claude Bernard.

Un de ses articles (1917) montre combien la vision éducative de Claparède est basée sur la méthode expérimentale, qu'il connaît lui-même par sa pratique. Pour lui,

« l'intelligence est la capacité de résoudre par la pensée des **problèmes** nouveaux » ;

« il n'y a pas d'intelligence sans **recherche** »

Il décrit « Les trois opérations capitales de l'intelligence » :

« L'intelligence est un mouvement de l'esprit qui doit porter celui-ci de l'inadapté à l'adapté (...). On peut distinguer dans ce mouvement de réajustement trois phases (...). L'une, point de départ de l'opération intellectuelle, c'est la **question** ; la seconde, c'est la *recherche*, ou **découverte de l'hypothèse** ; la troisième, enfin, c'est le **contrôle**, la *vérification* de l'hypothèse imaginée. Ce mouvement en lui-même (...) est déclenché par **un heurt, un choc**, consistant lui-même en une suspension de l'action. »

Ces trois phases sont alors détaillées :

« *La question* – Cette première phase (...) est la prise de conscience **du problème ou de la difficulté** à résoudre (...).

*Formation de l'hypothèse* – (...) Quelle que soit la forme générale des problèmes d'intelligence (...), la solution de ceux-ci exige toujours la formation d'**hypothèses**.

- *Le contrôle de l'hypothèse* – (...) la conscience [a] le sentiment que si telle hypothèse est juste, alors elle **entraîne certaines conséquences** qui peuvent être constatées. On pourrait noter provisoirement ce sentiment sous le nom de sentiment *si... alors*.

(...) Ce qui constitue une **expérience de contrôle** (...), ce sont des **observations provoquées** dans un ordre tel qu'elles soient propres à **trancher la question** en suspens.

(...) il en est de même s'il s'agit d'une expérience n'impliquant pas d'autre manœuvre que de *jeter les yeux* (...) *pour voir si* (...).

L'intelligence (...) est une technique consistant à risquer des réactions plus ou moins probables, dont **l'expérience seule montre le succès ou au contraire l'inanité**. » (1917).

Il résume en 1919 la pédagogie nouvelle qu'il prône,

« développant l'**initiative**, l'**indépendance d'esprit** et le **sens critique** »,

L'article de 1919 ne couvre que cinq petites pages, mais la richesse des idées qu'y lance Claparède impressionne. Des formules fulgurantes définissent ses objectifs, qui sont aussi, pour la formation intellectuelle des élèves, les nôtres :

« Les méthodes et les programmes **gravitent autour de l'enfant**, et non plus l'enfant tournant tant bien que mal autour d'un programme arrêté en dehors de lui, telle est la **révolution "copernicienne"** à laquelle la psychologie convie l'éducateur. »

« (...) substitution de l'**activité** et de l'**initiative** de l'enfant à l'obéissance passive » ;

« L'éducateur, (...) au lieu d'être au centre de la scène, (...) devra désormais se tenir dans les coulisses, d'où il disposera et organisera le milieu de la façon la plus favorable à l'éclosion des besoins intellectuels et sociaux de l'enfant, et à la mise en branle de ses **démarches intellectuelles** »

Le lien entre activité et initiative, si distendu aujourd'hui, est au cœur de ces propos.

Face au reproche de laisser les enfants « faire tout ce qu'ils veulent », Claparède a cette réplique aussi brillante que profonde :

« je préfère retourner la formule, et dire que, à la Maison des Petits, on désire que les enfants **veillent tout ce qu'ils font**. »

#### 1.5.2.4. Piaget et l'enseignement des sciences

Le jeune élève de Claparède, lui aussi biologiste, Jean Piaget (1896-1980) arrive à Genève en 1921 en ayant mis au point à Paris sa "méthode clinique" :

« le clinicien se pose des **problèmes**, fait des **hypothèses**, fait varier les conditions en jeu, et enfin **contrôle** chacune de ses hypothèses » ;

« Toute recherche sur la pensée de l'enfant doit partir de l'observation, et revenir à elle pour **contrôler** les expériences que cette observation a pu **inspirer** » (1926, p. 8-10).

J.-J. Ducret (2004) relie cette méthode à celle des sciences :

« la démarche (...) n'est rien d'autre que l'**adaptation de la méthode scientifique** à une réalité particulière étudiée par Piaget ».

Quand Piaget décrit, dans ses leçons au Collège de France, le « principe d'une théorie de l'intelligence » de Claparède, qui se trouve dans « les nombreux écrits du psychologue genevois » - il est vrai que lui-même est de Neuchâtel-, il mentionne les moments de « l'acte complet d'intelligence », utilisant les mêmes termes que Dewey quand il fournissait ses étapes similaires :

« a complete act of thought » (1909a, p. 68).

Piaget, professeur de *philosophie des sciences* à l'Université de Neuchâtel (1925 à 1929), puis de *histoire de la pensée scientifique* à l'Université de Genève (1929 à 1939), a une connaissance approfondie de l'histoire des sciences et de l'épistémologie.

Il fait en 1971, pour l'UNESCO, un exposé particulièrement clair sur l'enseignement des sciences,

qu'il prend justement en exemple parce que s'y posent les problèmes « les plus urgents et les plus complexes quant aux réformes à prévoir » (1972, p. 9). Et, partant des traditions épistémologiques, il en tire les perspectives pédagogiques :

« Les recherches psychologiques (...) demeurent partagées *entre trois directions dont les significations sont très différentes au point de vue des applications pédagogiques*. L'une fidèle aux vieilles traditions anglo-saxonnes, *reste orientée vers un associationnisme empiriste*, ce qui réduirait toute connaissance à une acquisition **exogène, à partir de l'expérience** ou des présentations (...) dirigées par l'adulte. *La seconde est caractérisée par un retour imprévu aux facteurs d'innéité et de maturation interne* (...) : en ce cas, l'éducation reviendrait en bonne partie en l'exercice d'une "**raison**" déjà préformée au départ. *La troisième direction, qui est résolument la nôtre* (...), *est de nature constructiviste*, c'est-à-dire sans préformation ni exogène (**empirisme**) ni endogène (**innéité**), mais **par continuel dépassements des élaborations successives** » (1972, p. 15-16).

La voie piagetienne ressemble donc beaucoup à cette troisième voie qui laisse d'un côté les empiristes et de l'autre les rationnels, fournis et araignés, pour être suivie par les abeilles qui récoltent et construisent, justement, par leur propre activité. Les *continuels dépassements des élaborations successives* correspondent non seulement à des élaborations matérielles, mais aussi, et même avant tout, à des élaborations *mentales*, ce qui trop souvent n'a pas été retenu dans la mise en pratique des "méthodes actives".

Piaget en vient au rôle de l'éducateur en sciences, qui doit intervenir en « obligeant au **contrôle des solutions trop hâtives** » (1972, p. 21) : l'élève est donc bien, dans cette troisième voie, invité à proposer, puis à contrôler ses idées.

Il se prononce de manière nette sur la place et le rôle des expériences dans la formation des élèves :

« ce ne sont pas, en effet, les expériences que le maître peut **faire devant eux** ou même **qu'ils font de leurs mains**, mais selon une **procédure déjà établie** et **qu'on leur dicte** simplement, qui leur apprendront les règles générales de toute expérience scientifique » (p. 24).

Les pratiques que Piaget dénonce ici sont cependant toujours dominantes dans l'enseignement des sciences actuel.

Les méthodes d'avenir devront faire une part de plus en plus grande (...) à la **spontanéité des recherches** dans la manipulation de dispositifs **destinés à prouver ou à infirmer les hypothèses qu'ils auront pu faire d'eux-mêmes** pour l'**explication de tel ou tel phénomène élémentaire**. » (p. 24).

Ce passage contient, à lui seul, l'essentiel de notre propos. Une explication est recherchée : les élèves font des hypothèses –le pluriel est notable. Puis c'est avec *spontanéité* qu'ils s'engagent dans des expériences, qui ne sont donc certainement pas "parachutées" par le professeur, mais bien établies à l'initiative par les élèves. S'il fallait s'en convaincre, il n'est qu'à poursuivre la lecture de Piaget, et le professeur d'histoire de la pensée scientifique n'y va pas de main morte :

« Une **expérience** qu'on ne fait pas soi-même avec **toute liberté d'initiative** n'est, **par définition, plus une expérience**, mais un simple dressage sans valeur formatrice faute de compréhension suffisante du détail des démarches successives. (...) et il faudra bien se plier à de telles nécessités si l'on veut, dans l'avenir, façonner des individus capables de production ou de **création** et non pas seulement de **répétition**. » (p. 25).

L'accord avec Dewey est sensible :

« Si l'élève n'a pas l'occasion de prouver **à ses risques et périls** que son **hypothèse** est raisonnable, la leçon, au point de vue progrès du raisonnement est **pratiquement nulle**. » (Dewey, 1909b, p. 274-275).

## La part d'initiative

La nécessité d'une part d'initiative conséquente, proclamée en 1971 à la tribune de l'UNESCO, est une constante du discours de Piaget.

Commentant en 1935 "l'énorme déchet" dans les connaissances subsistant quelques mois après leur apprentissage :

« Ce qui est resté, c'est l'ensemble du savoir fondé sur une **activité réelle, c'est-à-dire sur l'initiative personnelle** » (*in Xypas, 1997, p. 83*).

En 1944, au Congrès suisse des instituteurs de Berne :

« Il faut que l'écolier fasse des recherches **par lui-même**, puisse expérimenter, lire et discuter avec une **part d'initiative suffisante** et n'agisse **pas simplement sur commande**. » (*In Xypas, 1997, p. 97*).

L'élève, s'il a l'initiative, suit d'abord des fausses pistes :

« L'enfant a besoin de **passer (...)** **par des idées qu'il jugera erronées** dans la suite, mais qui semblent **nécessaires pour en arriver aux solutions finales correctes**. » (1972, p. 25).

Pour en arriver,

« par la combinaison du **raisonnement déductif** et des données de **l'expérience**, à la compréhension de certains phénomènes élémentaires » (1972, p. 25).

Les étapes successives de la procédure décrite par Piaget sont donc : un phénomène élémentaire à expliquer, des hypothèses que les élèves font d'eux-mêmes, le raisonnement déductif menant à l'expérience, avec toute liberté d'initiative, destinée à prouver ou infirmer leurs hypothèses.

Les liens entre les pensées fondamentales de ces trois pédagogues, ainsi que leur dette envers la pensée exprimée par Claude Bernard, sont rendus plus apparents sous la forme de ce tableau :

| <b>Claude Bernard (1865)</b>  | <b>John Dewey (1909)</b>  | <b>Édouard Claparède (1917)</b>   | <b>Jean Piaget (1949)</b>   |
|---|---|---|---|
| Constat d'un fait imprévu, qui ne rentre pas dans les idées admises | Difficulté à résoudre, choc, "morsure"  | Question, problème ou difficulté à résoudre ; "heurt, choc"   | Phénomène à expliquer   |
| Idee, hypothèse   | Idee, conjecture, hypothèse   | Découverte de l'hypothèse   | Hypothèses que les élèves font d'eux-mêmes  |
| Raisonnement déductif, institution d'une expérience                 | Raisonnement inféré de l'idée : certaines conséquences s'ensuivent              | Contrôle, vérification de l'hypothèse : <i>si</i> telle hypothèse est juste, <i>alors</i> telles conséquences peuvent être constatées | Contrôle des hypothèses explicatives, Raisonnement déductif   |
| Nouveaux phénomènes résultant de l'expérience                       | Observation ou expérience   | Expérience de contrôle (ou observation)   | Recours à l'expérience, avec toute liberté d'initiative   |
| Jugement : hypothèse expérimentale vérifiée ou infirmée             | Adoption ou rejet de cette suggestion, c'est-à-dire à conclusion pour ou contre | L'expérience montre le succès ou l' inanité de l'hypothèse  | Combinaison du raisonnement déductif et des données de l'expérience pour prouver ou infirmer leurs hypothèses |

### 1.5.2.5. Les positions de Freinet en sciences

Freinet défend d'une manière vigoureuse *le tâtonnement expérimental*<sup>347</sup>, combat le verbalisme et prône "la main à la pâte" (terme qu'il utilise).

Il s'inspire notamment de sa lecture de Dewey :

« Freinet a bien compris qu'il fallait un complément aux travaux qu'il avait repris de Dewey et Kerchensteiner et qui étaient répandus au temps de Decroly et de leurs protagonistes des méthodes actives. »<sup>348</sup>

Son "invariant n°11" affirme :

<sup>347</sup> Freinet, C. (1948). « L'expérience tâtonnée (abrégé) ». *Brochures d'Éducation Nouvelle Populaire* n°36, Éditions de l'École Moderne Française, avril 1948.

Freinet, C. (1966). *Le tâtonnement expérimental*. Collection *Documents de l'Institut Freinet*, n°1, Vence, février 1966.

<sup>348</sup> Charles Pepinster, premier débat du colloque *La pédagogie Freinet et les pédagogies actives* organisé le 20 avril 2002 par *Éducation populaire* et le mouvement Freinet belge francophone, actes *in Éducation populaire*, n°19, mars-avril-mai 2002.

<http://www.freinet.org/educpop/PFPA/debat1.html>

« La voie normale n'est **nullement l'observation, l'explication et la démonstration**, processus essentiel de l'école, mais le tâtonnement expérimental, démarche naturelle et universelle. »<sup>349</sup>

Ce tâtonnement concerne cependant aussi bien l'apprentissage de la marche (invariant n°11) que l'expérience pour voir (ce qui se passe) ou la recherche pour contrôler (une hypothèse), comme en cas de panne de voiture : est-on à sec ? L'essence arrive-t-elle ? (1966).

En 1962, il dirige une brochure sur l'enseignement des sciences<sup>350</sup>. Il y narre son propre itinéraire, son expérience d'ancien élève, et dans un récit aussi instructif qu'émouvant, il explique ses propres tâtonnements d'enseignant "nul en sciences". À travers les textes de Freinet, on comprend qu'après avoir prôné l'expérience contre le verbalisme, et malgré la perte de son "sens scientifique", il a senti l'insuffisance de la seule pratique tâtonnante, et fait en 1962 le bilan de 12 ans de recherche, ponctués de "bon nombre d'essais plus ou moins heureux".

« Au Cours Complémentaire (...) **Je "savais", peut-être à la perfection, mon cours de sciences**. J'ai tenu par la suite un rang honorable pour cette même discipline à l'École Normale. Mais là, j'avais conscience déjà de me trouver dans une impasse, d'apprendre des mots et des définitions, mais de **ne pas comprendre**, et sentant bien que c'est cette compréhension qui m'aurait donné le fil d'Ariane qui m'aurait permis de me reconnaître dans le dédale d'une science dont je n'avais pas même entrevu le secret.

Et **j'ai eu une bonne note** au brevet supérieur.

Or, dans la pratique, et cela depuis ma sortie de l'École Normale, **je suis nul en sciences**. J'ai oublié radicalement -et je m'en félicite- tous les mots, toutes les démonstrations qui avaient constitué à l'école mon embryon de culture scientifique. (...) Et ce qu'il y a de plus grave, c'est que **je me sens impuissant à expérimenter et à apprendre**, comme si on avait **faussé en moi un mécanisme**. J'ai perdu définitivement le sens et l'allant scientifiques.

(...) Je n'ai malheureusement **jamais mis la main à la pâte** et c'est de là, évidemment que vient tout le mal.

(...) nous souffrons tous de la même tare grave qui, au lieu de faire de nous des scientifiques, bouche notre compréhension, **notre besoin de recherches et d'expériences** » (p. 3-4).

L'instituteur Freinet s'emporte lorsque, appliquant des instructions officielles qui ont évolué dans le bon sens mais ne parviennent pas à transformer les pratiques de terrain, son équipe se retrouve isolée dans un système contradictoire :

« **C'est nous qui respectons les Instructions Ministérielles** ; c'est la pédagogie traditionnelle, ce sont les manuels scolaires qui en **sabotent l'application** et qui **devraient, de ce fait, être officiellement dénoncés**.

Mais **comme c'est la grande masse des enseignants qui désobéit aux I. M.**, on tolère cette anomalie et on partirait volontiers **en guerre contre l'École Moderne** qui s'applique à faire passer dans la pratique courante de nos classes l'esprit et la forme des I. M. » (p. 5).

Une leçon toujours valable de nos jours, tant reste grande la distance entre les déclarations d'intention et la mise en place de conditions qui permettraient d'éviter le "sabotage" décrit par Freinet.

Une série d'idées-forces particulièrement nettes et d'exemples très précis sont mis en avant dans la brochure de 1962 (p. 12-19) :

« 6° **ACQUISITIONS ET ESPRIT SCIENTIFIQUE SERAIENT-ILS DONC ANTINOMIQUES ?**

L'École ancienne disait "Acquisitions d'abord ; esprit scientifique ensuite si possible".

Nous disons "**Esprit scientifique d'abord**, base d'une acquisition sûre et solide des connaissances" ».

« (...) si vous leur avez donné **l'esprit scientifique**, si vous avez **sauvegardé** en eux, puis activé leur **curiosité** naturelle, leur **besoin inné de chercher, d'expérimenter** et de **créer**, ils se retrouveront toujours dans leur élément ».

<sup>349</sup> Freinet, C. (1964). *Les invariants pédagogiques : code pratique d'école moderne*, Éditions de l'École Moderne Française.

<sup>350</sup> Freinet, C. (dir, 1962). *L'enseignement des sciences*, B.E.M. n°11-12, Bibliothèque de l'École Moderne.

« 7° – **IMAGINATION ET INVENTION.**

La méthode scolastique néglige systématiquement **ces données majeures** de l'enseignement scientifique... »

« La recherche scientifique n'est que tâtonnements, **bonds en avant, reculs**. Mais rien de cette **marche hésitante** ne transperce à l'école traditionnelle. Le maître, suivant son plan de travail personnel, attire l'attention sur tel point, sur tel détail et **l'enfant absorbe la pâtée, la digère... ou la rejette**. Certains ne la goûtent même pas.

Cet ersatz d'enseignement dont l'artificiel éclate à nos yeux, ne nous satisfait pas et depuis plus de douze ans nous cherchons une solution. Nous avons fait bon nombre d'essais plus ou moins heureux. En confrontant nos découvertes nous avons péniblement avancé. »

À l'appui de ces idées, Freinet fournit des exemples de “tranches de vie” de la classe de Pierre Bernardin, qui « fait comme le point de nos expériences et de nos efforts dans ce domaine ». Comment se forme le vent ? Pourquoi les avions volent-ils ? Etc. Un élève fait chauffer de l'eau s'attendant à ce qu'elle devienne plus légère, et voit sa conception se heurter aux faits... Ces exemples sont nets : une grande initiative est laissée aux élèves.

Les réflexions et les interrogations que Freinet livre dans ce bilan, avec sa modestie d'ancien “nul en sciences”, son évident respect de l'enfant, son écoute des autres enseignants et son honnêteté à remettre en question ce qui semble pourtant convenir sont exemplaires.

« Les enfants eux-mêmes paraissaient satisfaits car après une certaine recherche, ils arrivaient à un résultat, à une loi exprimée. » (p. 19).

Le problème pédagogique majeur qu'il considère alors est central dans notre recherche :

« **Le problème à résoudre** a été posé de façon très précise par Lucienne Mawet au cours de son exposé au Congrès de Mulhouse. Il s'agit toujours de cette “**part du maître**” qui peut être si utile lorsqu'elle arrive au bon moment et de bonne façon, **mais qui peut être néfaste** quand elle apparaît à faux. » (*id.*).

Le rapport part du maître / part de l'élève nous préoccupe en effet particulièrement, notamment pour ce qui est de la prise d'initiative, et l'outil que nous proposons a pour objet d'en modifier le quotient.

La stratégie proposée par Freinet convient à ce projet :

« Paul Delbasty nous a ouvert les yeux. (...) **La marche** vers le but à atteindre doit être faite d'**errements**, de **tâtonnements**, d'**erreurs**, de **redressements**, et ce sont les enfants eux-mêmes qui doivent peiner et faire les découvertes successives et indispensables. » (*id.*).

Elle fait écho aux différentes considérations que nous avons rencontrées, dont nous retiendrons les suivantes de William Whewell (partie 1.2.8.1.) et d'Isabelle Stengers (partie 1.2.9.2.) : le premier, témoin Mill, n'admettait pas la restriction de la liberté de faire des hypothèses ; la seconde souhaitait que soit réunies les conditions dans lesquelles les élèves puissent se dire :

« inventons les pratiques qui rendront nos opinions vulnérables ».

## Chapitre 2

# PROBLÉMATIQUE

### 2.1. De l'épistémologie à la didactique

Les constats précédents montrent une situation passablement bloquée. Les contraintes institutionnelles, dont, notamment, la volonté de “transmettre” une quantité impressionnante de connaissances aux élèves, n'est pas ébranlée par la minceur et la confusion de ce qui en subsiste après les examens ou après quelques semaines (Giordan et De Vecchi, 1987, chapitre I ; Giordan, 1998, p. 8).

#### 2.1.1. Un exemple significatif

Le décalage entre les processus en jeu dans la construction des sciences et les préoccupations majeures de leur enseignement transparait de manière édifiante dans l'exemple pris par Francis Crick lui-même dans son autobiographie (1988), à propos de ce qui est certainement l'avancée majeure du XX<sup>e</sup> siècle en biologie : la compréhension du fonctionnement des gènes. Crick rappelle que dans les années 40, ce qui semblait important dans les chromosomes, c'était les protéines, accompagnées d'un insignifiant ADN (p. 50). Mais quelle que soit la nature moléculaire des gènes, ils devaient avoir une fonction résultant de leur forme dans l'espace, et il fallait bien que cette forme soit transmise de génération en génération, comme un moule pour une sculpture :

« (...) il est facile de copier ainsi *l'extérieur* d'une structure tridimensionnelle, mais comment diable pouvait-on copier *l'intérieur* ? Le processus semblait à ce point mystérieux qu'on ne voyait même pas par quel bout le prendre.

Bien sûr, aujourd'hui nous connaissons la réponse, et tout semble si évident que l'on ne se rend plus bien compte du **grand mystère** qui entourait le **problème**. » (p. 50-51).

Ce problème n'est pas abordé dans les cours de biologie, où la réponse est fournie à l'aide de schémas ou de modèle tournoyant sur écran d'ordinateur. Or, Francis Crick nous donne une leçon d'esprit scientifique :

« Si, pas hasard, vous ne connaissez pas la réponse, **je vous demande de réfléchir un moment** à ce qu'elle **pourrait bien être**. À ce stade, inutile de se soucier des détails chimiques, c'est le principe qui compte. » (p. 51).

Pour lui, et même 35 ans plus tard, le mécanisme intellectuel qui pourrait faire imaginer une solution, peut-être fausse, demeure plus important que le résultat qui lui a valu le prix Nobel : on se doute qu'il aurait plus de satisfaction à entendre un interlocuteur lui proposer une explication hardie, même bancale, que lui décrire tout le processus.

Crick poursuit :

« Aujourd'hui la plupart des gens savent ce qu'est l'ADN, et s'ils ne le savent pas exactement, ils savent qu'il s'agit d'un **mot important**, comme “chimique” ou “synthétique”. (...) Bien des gens ont encore du mal à comprendre ce qu'est l'ADN. Je me souviens d'une chanteuse de night-club à Honolulu qui me confessa que

lorsqu'elle était **au lycée** elle nous avait maudits, **Watson et moi**, à cause de ces **choses difficiles sur l'ADN** qu'elle avait **dû apprendre** en classe de sciences naturelles. » (p. 86-87).

Crick raconte aussi la réponse que fit un vendeur de badges marqués "ADN" à l'un de ses amis chimistes, intrigué : "t'es pas à la page, mec, c'est l'gène !..." (p. 86).

Les mots ont été retenus, mais de là à obtenir une logique, un mécanisme explicatif, pourtant "appris"... Le fait de simplement demander à des individus ayant fait des études secondaires normales, même en série scientifique, mais ne s'étant pas ensuite orientés en biologie, comment l'ADN gouverne l'apparition de caractères suffit à conforter les remarques désabusées de Crick. Ce dernier nous fournit dans ses conclusions d'autres réflexions qui peuvent servir de pistes pour l'enseignement des sciences, lorsqu'il évoque les idées fausses des scientifiques auxquels ils tiennent cependant, de la même manière que des élèves tiennent à leurs conceptions, et qu'il nomme des théories "pas de problème" :

« Les théoriciens tiennent presque toujours **beaucoup trop à leurs propres idées**, souvent parce qu'ils les **fréquentent depuis trop longtemps**. Il est difficile d'admettre que votre théorie chérie, qui **ne marche pas trop mal** sur certains points, est **peut-être complètement fausse**. (...) quels critères peut-on utiliser pour s'orienter dans la jungle des théories possibles ? Il me semble que les seules contraintes utiles sont celles fournies par les **résultats expérimentaux**. Mais cette information elle-même comporte **ses propres risques** (...). Les professionnels savent qu'il leur faudra **produire théorie sur théorie** pour avoir une chance de décrocher le gros lot. **L'habitude de laisser tomber une théorie pour une autre** leur donne un degré de détachement critique dont on pourrait presque dire qu'il constitue une **composante essentielle** de la réussite. » (p. 197-198).

Ainsi paraît-il important de forger une telle habitude, qui, à la fois, fasse vivre aux élèves un "jeu" mental identique à celui des scientifiques, et les entraîne à ne pas s'attacher à leur "théorie" du moment, en faisant sentir « le rôle important que peuvent jouer les hypothèses générales négatives (si l'on parvient à en trouver des bonnes) » (Crick, 1988, p. 196).

Des plans de rénovation sont mis en place, qui demandent aux enseignants d'engager leurs élèves dans des *démarches d'investigation*. Mais les consignes qui, en France par exemple, visent à promouvoir les démarches hypothético-déductives, datent de plusieurs dizaines d'années déjà<sup>351</sup>. Les exhortations sont de peu d'effet, de par les contradictions qu'elles comportent comme du fait qu'elles se font dans un cadrage programmatique et horaire qui ne varie pas, et sans projet d'envergure pour la formation des enseignants.

Un autre problème est que ces recommandations heurtent les conceptions empiristes de la plupart des enseignants, à tel point qu'à propos de l'introduction éventuelle de l'épistémologie dans les programmes scientifiques et de la formation des enseignants qui serait nécessaire, Lakin et Wellington (1994) se demandent :

« (...) qui prendra l'initiative d'un développement curriculaire susceptible d'aller **à l'encontre des conceptions** des professeurs sur la science (...) ? »

Situation d'autant plus bloquée que, même désireux de suivre de telles consignes, les enseignants ne vont pas faire des coupes dans les programmes pour dégager le supplément de temps qu'ils jugent souvent nécessaire –à tort ou à raison– pour laisser davantage d'initiative aux élèves, d'autant que les inspecteurs sont particulièrement sourcilleux sur la couverture de l'ensemble du programme. Dans ce contexte, des innovations en provenance du champ de la didactique, telles la prise en compte des représentations des élèves ou encore l'appui sur des problèmes à résoudre, même quand elles passent dans les textes officiels, sont neutralisées par une dénaturation et une incorporation dans le schéma pédagogique préexistant, à une place où elles ne jouent guère de rôle.

---

<sup>351</sup> Circulaire du 17 octobre 1968.

## 2.1.2. De l'Arche de la connaissance à une arche pédagogique

Les données historiques et épistémologiques analysées nous conduisent à une vision synthétique des itinéraires scientifiques, dans laquelle l'arrêt prononcé par Newton contre les hypothèses, si influent, n'a pas lieu d'être, quelles qu'aient été ses motivations : sincère conviction du danger des spéculations hasardeuses –mais, en même temps, aveuglement étrange sur sa propre tendance à s'y adonner-, ou souhait d'effacer son usurpation de celles de Hooke.

L'historien des sciences David Oldroyd utilise, pour caractériser l'histoire de la méthodologie des sciences, l'image d'une arche, *l'Arche de la connaissance*, titre de l'un de ses ouvrages (*The Arch of Knowledge*, 1986), et il est vrai que les auteurs s'expriment souvent en termes de montées et de descentes, de l'échelle de Bacon à l'escalier de Whewell en passant par la voie de l'architecte et la méthode du jardinier de Hooke. Cette arche vénérable, qu'Oldroyd fait remonter à l'Antiquité, possède un pilier ascendant menant des faits aux idées, tandis que l'autre, descendant, symbolise le cheminement inverse. Oldroyd n'en donne pas de représentation graphique, ce que nous nous proposons de faire afin d'en détailler l'architecture d'une manière qui puisse servir à l'édification d'une *arche pédagogique* s'en inspirant.

### 2.1.2.1. Les verticales de l'Arche

Le style paraît hétéroclite : le solide pilier ascendant de l'induction, cher à Newton, est doublé par la frêle colonne du "saut" intellectuel de Whewell, tandis que la colonne de la déduction, unique, est ceinte de l'anneau du contrôle (*probatio*).

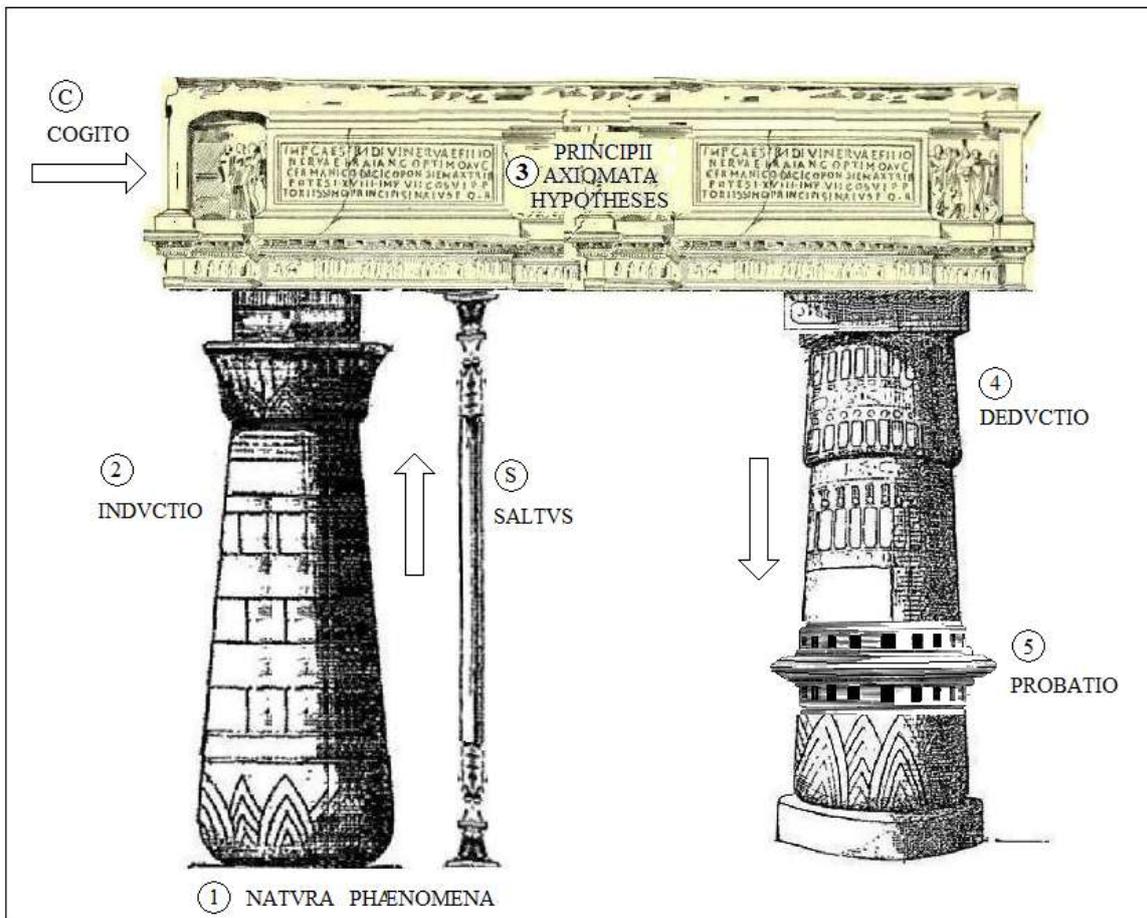


Figure 1. Une représentation de l'Arche de la connaissance et de sa superposition de styles

Les grandes lignes de l'Arche, nous dit Oldroyd, remontent à Platon. Il les repère dans l'allégorie de *la ligne*, qui sépare monde visible et monde intelligible (*La République*, VI, 509d-511e), passage obscur que nous ne nous risquerons pas à tenter d'interpréter –il a suscité plus de commentaires que tout autre passage du corpus platonicien, même l'allégorie de la caverne, et le traducteur G. Leroux (2004) cite des travaux permettant « de pouvoir y voir un peu clair. »<sup>352</sup> Le monde des Idées de Platon le situe surtout en ③, loin des phénomènes naturels ① qui ne sont pour lui que des apparences.

Aristote est beaucoup plus physicien et biologiste, tout en codifiant la logique. Mais lui-même ne suit pas toujours ses propres préceptes. En physique, dit le spécialiste de la science antique Geoffrey Lloyd (1974, p. 138),

« ses théories ne sont que des généralisations hâtives fondées sur des observations quelque peu superficielles. »

En biologie, s'il remet à l'honneur l'observation délaissée par les platoniciens et est souvent remarquable de précision, ses explications recourent fréquemment aux causes finales, et certaines de ses affirmations sont loin d'être contrôlées (tels les os du lion, si durs que « lorsqu'on les frotte, le feu en jaillit » (*Histoire des animaux*, III, 7)). Dans les questions de méthode générale, Aristote définit induction et déduction. La déduction (④ sur l'Arche) part de principes ③ qui doivent être exacts. Mais comment sont connus ces principes ?

« Il est donc évident que c'est nécessairement **l'induction qui nous fait connaître les principes**, car c'est de cette façon que la **sensation** elle-même produit en nous l'universel. » (*Seconds Analytiques*, II, 19, 100b5).

Les deux piliers sont alors en place :

Sensation, expérience ① → induction ② → principes ③,  
principes ③ → déduction ④.

C'est cette primauté de la sensation qui fera remonter à Aristote la fameuse maxime à la base du sensualisme, « rien n'est dans l'intellect qui n'ait été d'abord dans les sens », qu'on ne trouve cependant pas chez lui (mais chez Thomas d'Aquin). Mais à cause des exigences qu'il pose, Aristote a du mal à relier les deux piliers par une clef de voûte : le point de départ d'une déduction (les principes) doit être certain, mais le point d'arrivée d'une induction (les mêmes principes) ne peut qu'être incertain. Sa solution paraît dans l'ultime chapitre des *Seconds Analytiques* (II, 19), qui a fait couler beaucoup d'encre épistémologique. La connaissance n'est pas innée : « c'est là une absurdité », et voilà récusée en quelques mots la *réminiscence* de son maître Platon et ce que ce dernier faisait dire à Socrate, censé en « accoucher » les esprits. Non : la connaissance est saisie par le *noûs*, terme que certains auteurs traduisent par *intuition*, d'autres par *intellection*, qui permet de relier le point d'arrivée d'une induction au point de départ d'une déduction, et rend les principes certains, sans qu'Aristote nous dise comment. Le lien entre les deux piliers reste énigmatique<sup>353</sup>, mais enfin, ils sont bien dressés tous deux pour les siècles à venir.

<sup>352</sup> Note 142 in Platon, *La République*, GF Flammarion, 2004, p. 672.

<sup>353</sup> Les difficultés d'interprétation et les incohérences dans l'œuvre d'Aristote ont été signalées par de nombreux auteurs : Le Blond (1939), Aubenque (1966), Granger (1976), et plus récemment Tricot (2000), Wolff (2000), Crubellier et Pellegrin (2002), Heinzmann (2002), Ong-Van-Cung (2002). Ben Mrad (2004) loue l'effort considérable entrepris par Aubenque, l'opposant « à tous ceux qui ont exagérément systématisé Aristote en cherchant à tout prix à rendre absolument cohérentes ses différentes attitudes. » Les thèses contradictoires du corpus aristotélicien avaient conduit Jaeger (1923) à les interpréter comme révélant un lent éloignement de la pensée de Platon, avant qu'Owen (1968) y voie le mouvement inverse. L.-A. Dorion, sur un passage de sa traduction des *Réfutations Sophistiques* qui traite de l'induction et de la déduction (1995, p. 220), commente : « Après avoir souligné que ce passage est d'une obscurité tout à fait déconcertante, Ebbesen renvoie au commentaire de Galien le lecteur qui ne désespère pas de trouver à ces quelques lignes un sens un tant soit peu satisfaisant. » Et Galien remarque que chez Aristote « une telle concision

Nous pouvons y placer les discours majeurs de la méthode :

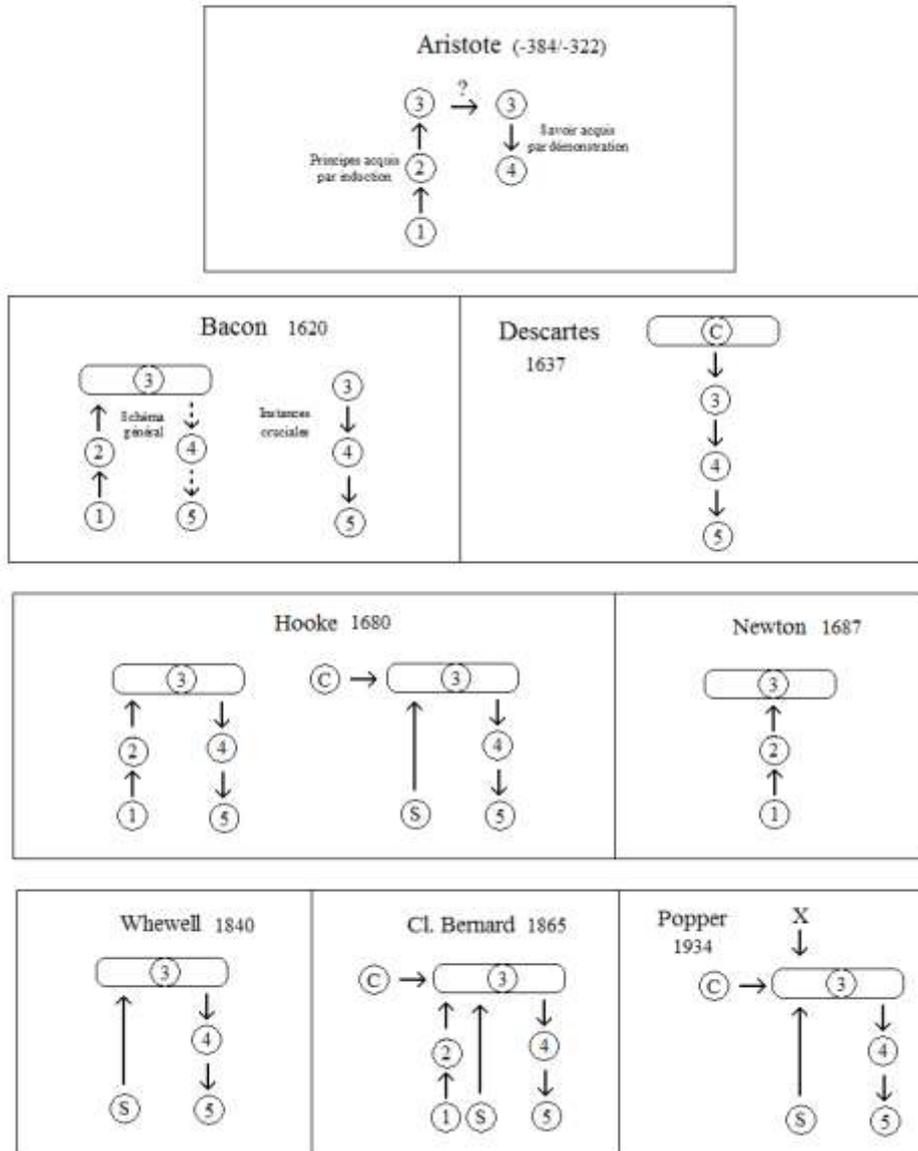


Figure 2. Différents architectes de l'Arche

Bacon aménage l'espace ③, chassant ou balisant les idoles de l'esprit, puis décrit le cheminement général ①→②→③ et laisse entrevoir une suite →④→⑤. Son *instance de la croix* suit le trajet ③→④→⑤.

Descartes suit, à partir de son esprit ③, la voie descendante, déductive et expérimentale, ③→④→⑤.

Hooke peut parcourir l'ensemble de l'Arche, ①→②→③→④→⑤, mais sait aussi utiliser les voies plus courtes : **S** ou ③→④→⑤.

Newton, lui, prétend ne pas dévier de la voie ascendante ①→②→③.

Whewell prône la voie **S**→③→④→⑤, Cl. Bernard insiste sur le traitement de l'hypothèse (③→④→⑤), quelle que soit son origine, ainsi que Popper, qui accepte la prise en compte de toute idée originale (X), mais rejette l'induction à partir d'une base empirique fiable, donnant des précisions architecturales utiles pour notre Arche :

---

est courante, puisque ses écrits sont avant tout destinés aux auditeurs de ses cours ». Il est vrai que les œuvres publiées par Aristote sont aujourd'hui perdues et que ne nous est parvenue qu'une masse de manuscrits, probablement des notes pour ses cours au *Lycée*, qu'il ne destinait pas à la publication.

« La science ne repose pas sur une base rocheuse. La structure audacieuse de ses théories s'édifie en quelque sorte sur un marécage. Elle est **comme une construction bâtie sur pilotis**. » (1934, p. 111).

John Stuart Mill, s'il insiste sur la montée inductive ② avec ses "canons", décrit à la fois une Méthode Déductive qui suit, par le gros pilier ascendant, l'itinéraire ②→③→④→⑤, et une Méthode Hypothétique, suivant  $S \rightarrow ③ \rightarrow ④ \rightarrow ⑤$  (voir partie 1.2.8.1.).

### « La » démarche scientifique ?

La considération de cette Arche permet à la fois d'appréhender la diversité des démarches scientifiques et d'en dégager l'unité.

Cette diversité est manifeste dans les moyens d'accéder à l'idée générale, ③, et l'on peut même, dans une certaine mesure, accorder à Feyerabend son "tout est bon" méthodologique, dès lors que l'on restreint cette sentence à tout ce qui permet de proposer, avec plus ou moins d'assurance, une idée nouvelle : peu importe son origine. Dans l'architecture de l'Arche, la diversité peut régner dans la partie gauche : là, en effet, "tout est bon", et la variété est enrichissante, de la colonne massive de l'empilement inductif des faits à la fine colonnette du "bond" de l'esprit, et même au léger pilastre décoratif de la pure fiction qui conduit à une idée générale sans même qu'il y ait ascension. Toute idée prometteuse a sa place.

Mais *promettre* ne suffit pas, et le problème d'un "tout est bon" qui serait sans réserves est qu'il mènerait à *admettre* toute idée sans la *soumettre* au contrôle le plus sévère. De même ne peut-on accorder de statut scientifique au simple résultat d'une induction qui, comme celles que prétend faire Newton, parviendrait à un axiome général pour s'y reposer, sans contrôle ultérieur : une induction ne peut mener qu'à une proposition générale plus ou moins probable, mais qui reste à mettre à l'épreuve. L'idée provenant d'un pur travail de l'esprit a droit de cité en ③, mais avec les mêmes restrictions. L'avancée majeure de l'épistémologie du XX<sup>e</sup> siècle, depuis le "nouvel esprit scientifique" que célébrait Bachelard, est peut-être que toute idée mérite crédit, sans distinction d'origine : sa provenance ne lui conférant ni handicap, ni avantage.

C'est ici qu'apparaît l'unité des démarches scientifiques, qui donne à la démarche hypothético-déductive son aspect universel : l'idée, quelque fondée, séduisante ou nécessaire qu'elle paraisse et de quelque noble extraction qu'elle se réclame, reçoit le dossard standard d'une hypothèse non assurée et passe sous les mêmes fourches caudines de la mise à l'épreuve que la conjecture la plus improbable. On voit, dans cette perspective, que la voie de l'hypothèse *n'exclut pas l'induction* : elle l'englobe simplement dans un ensemble plus vaste.

Pour se retrouver au sommet de l'Arche, les voies d'escalades sont nombreuses, certaines sont risquées, d'autres plus longues et moins pentues. Les uns montent prudemment, comme Bacon, d'autres jettent un grappin ou font un pas audacieux, comme Whewell. D'autres encore tombent du ciel, comme Descartes.

Mais, contrairement à l'alpinisme, vaincre le sommet ne suffit pas. Tout se joue à la descente : le pilier de droite est unique et le *contrôle* –quel que soit sa nature, autre source de diversité des démarches- attend l'idée à la descente, point de passage inévitable. Toute création de l'esprit n'est admise dans le monde scientifique qu'après contrôle –et encore, provisoirement et sans label d'absolue "vérité".

Ainsi peut-on retrouver les enseignements de la *leçon sur la méthode* de Georges Canguilhem (1942, voir partie 1.2.9.2.), selon laquelle « L'épistémologie contemporaine (...) ne connaît que des sciences hypothético-déductives. »

Dès lors, deux moments-clés peuvent être dégagés : ③, l'idée à valeur générale et ⑤, son contrôle. Ce sont les emplacements en amont desquels opèrent les deux "esprits scientifiques", qui sont à travailler avec des élèves :

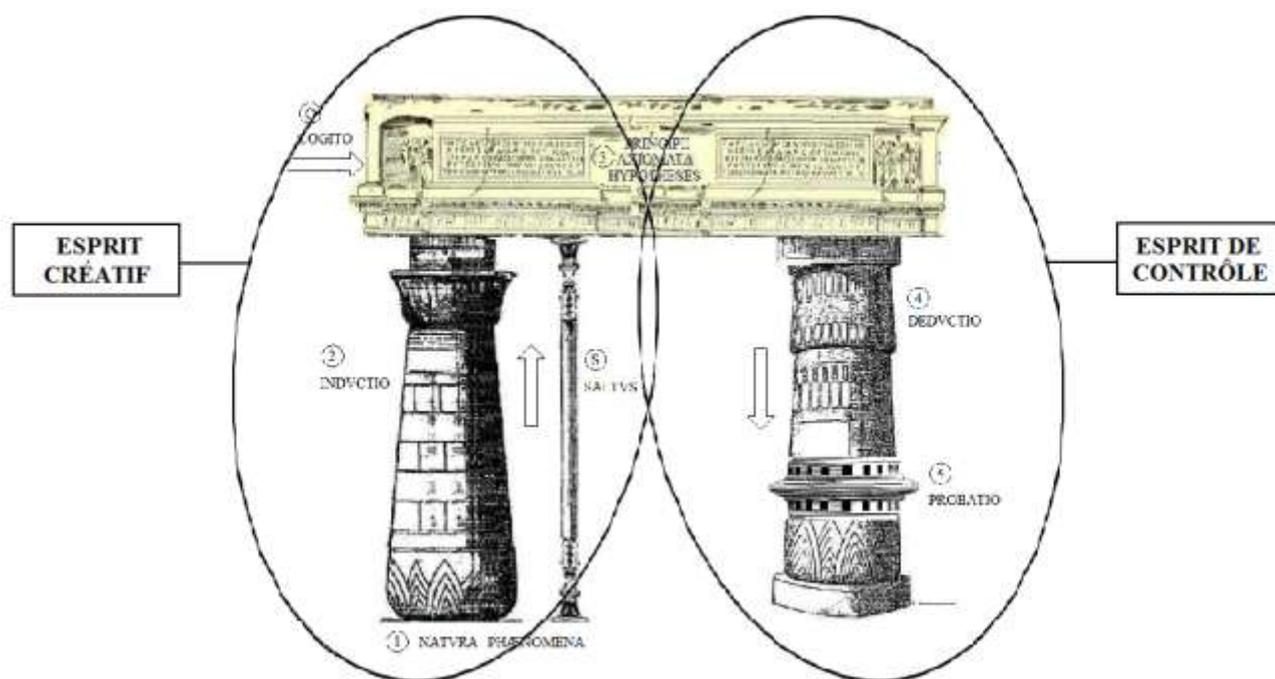


Figure 3. Arche de la connaissance et esprit scientifique

Une vision confortée par la mise au point synthétique réalisée par Ian Hacking (1999), premier anglophone titulaire d'une chaire permanente au Collège de France (Philosophie et histoire des concepts scientifiques), dans l'un de ses derniers ouvrages, mise au point qui permettra d'illustrer avec quelle force se détachent les deux aspects de l'esprit scientifique que nous venons d'évoquer :

« Peut-être que le véritable âge d'or, c'était quand la philosophie des sciences est venue au jour –ou, en tout cas, quand le terme « philosophie des sciences » commença à entrer en usage. C'était en 1840 avec William Whewell (1840, I, 2), qui a dit aussi qu'il avait inventé le nom même de scientifique.

Inutile de dire que les descriptions philosophiques de la science n'ont pas commencé en 1840. Dans le monde anglophone, il y a **deux grandes traditions**. L'une est la **méthode inductive** de Francis **Bacon**, institutionnalisée par l'**énoncé abrupt de Newton qui dit ne pas avoir besoin de faire des hypothèses**. Dans les philosophies inductives, le raisonnement scientifique part de façon caractéristique des données **de base pour s'élever**. Nous partons d'observations simples, nous faisons des **généralisations**, nous les **testons**, nous faisons des **généralisations** plus importantes. Le résultat final sont les théories et les lois de la nature.

**L'autre méthodologie de base va de haut en bas**. C'est la **méthode de l'hypothèse**. Nous faisons des hypothèses, nous en **déduisons** des conséquences vérifiables, nous faisons des expériences, négligeons les mauvaises hypothèses, celles qui sont **réfutées** par les expériences et continuons avec de **nouvelles hypothèses**. La méthode hypothétique était un lieu commun pendant tout le XIX<sup>e</sup> siècle depuis l'époque de **Whewell**, et a conquis une place centrale, sous le nom d'« abduction », dans la philosophie de Charles Sanders **Peirce**. Plus récente est la méthode hypothético-déductive, ou la méthodologie **poppérienne** des **conjectures et des réfutations**. » (p. 265).

De la base pour s'élever ou de haut en bas : la description de Hacking se superpose bien à l'Arche d'Oldroyd.

Mais Hacking ne se contente pas de ces généralités : il s'appuie sur des exemples, nous précisant, dans l'avant-propos de l'édition française (2001), que « Wittgenstein nous avait prévenu que souvent les philosophes se fourvoyaient parce qu'ils s'imposaient un régime bien maigre d'exemples pour nourrir leur pensée. » (p. 5). Et l'un de ceux qu'il prend nous intéresse doublement : s'il sert de modèle de démarche inductive, il correspond également à ce que pourrait être le déroulement d'une séance de travaux pratiques sur les végétaux verts aujourd'hui. Hacking poursuit :

« Pour un énoncé plus élégant qui provient de la fin de **l'apogée de l'inductivisme**, j'aime citer Humphrey Davy. Il a donné des conférences générales sur la géologie (1805/1980) mais **sa méthode inductive** a trouvé **sa meilleure formulation** dans son introduction à la chimie :

« Les fondations de la philosophie chimique sont **l'observation, l'expérience** et **l'analogie**. Par l'observation, **les faits s'impriment dans l'esprit** distinctement et en détail. (...) » (Davy, 1812, 2).

(...) Il poursuivait par un exemple charmant de globules d'air sur des filaments de plantes vertes trouvées dans des mares et des ruisseaux –une **observation qui « ne donne aucune information** sur la nature de l'air ». Ensuite, un verre à vin est placé au-dessus de ces plantes pour collecter cet air. On **découvre qu'une bougie fine brûle** de manière plus brillante dans l'air collecté que dans l'air ordinaire. « La question est posée de savoir si cette observation est vraie pour toutes les plantes de ce type. Après beaucoup d'essais divers « *une vérité scientifique générale* est établie –que toutes les *confervae* [nom qu'il a donné à cette espèce de vie dans les mares] produisent une sorte d'air qui soutient la flamme à un degré supérieur. » (1812, 3).

(...) Davy insistait sur le fait que la plupart d'entre nous fonctionnons par observations et analogies, en formant des **généralisations** que nous soumettons à des **tests** expérimentaux. Et nous ne sommes pas nombreux à être de bons observateurs. (...) Davy avait sûrement raison quant à ce type d'esprit dont on a besoin, entre autres, dans les sciences.

**Il y a un autre type de science.** Une certaine version de la méthode hypothético-déductive a été dominante dans la philosophie des sciences de Whewell à Popper. **Popper** insistait sur le fait que la manière dont on arrivait à des généralisations n'avait **pas beaucoup d'importance**, pourvu que l'on puisse les **soumettre à des vérifications expérimentales**. Popper aimait les **conjectures audacieuses**. (...) Il pensait que plus **risquée** était la conjecture, plus ouverte était-elle à différents types de vérification et de falsification potentielles, mieux c'était (...).

(...) Après que la poussière poppérienne s'est reposée, nous voyons dans le travail scientifique simple (...) un mélange heureux d'inductions et d'analogies (comme elles sont décrites par Davy et beaucoup d'autres), de conjectures et de réfutations (comme prescrites par Popper). » (p. 269-271).

Nous remarquons une caractéristique de cet exemple paradigmatique de démarche inductive : les généralisations sont *soumises à des tests*. C'est donc qu'elles étaient incertaines : dès lors, elles ne diffèrent des conjectures poppériennes, non pas par leur nature, mais par leur degré d'audace. Ce sont les inductions légitimes et présentables que nous avons rencontrées chez Pasteur, qui sans nul doute eut dit des sulfureuses créatures illégitimes de Popper la même chose que de celles de Berthelot : “des hypothèses comme celles-ci, ah !” (Partie 1.2.8.4.).

Un second point retient notre attention : dans la description inductive, sur l'“air” *observé*, issu des plantes vertes, est réalisée une *expérience* avec la bougie. On s'élève graduellement en accumulant les faits, comme l'ont fait faire de nombreux professeurs dans des classes où les élèves ont trouvé, en arrivant, plantes, verres et bougies, matériel désormais agrémenté d'un “problème” au tableau. Mais pourquoi donc Davy, en 1812, et les élèves deux siècles plus tard vont-ils introduire une bougie dans l'air récolté ? Ce ne peut être, historiquement, que pour tester une hypothèse *dont-on-ne-prononce-pas-le-nom* sur la nature du gaz émis, et on s'empresse de spécifier qu'on multiplie les “essais” et qu'on parvient à une “vérité générale”. Aujourd'hui, pour la chasser des classes, elle est remplacée par une *mise en évidence*, qui de même sera énoncée en tant que vérité générale.

Cet exemple est justement celui que nous avons choisi pour illustrer le côté artificiel de séquences de mise en évidence portées par un faux dialogue dans le style de ceux que Platon prête à Socrate dans le *Ménon* (82-85) pour cautionner sa réminiscence (Cariou, 2002) :

- « - Dis-moi donc, mon garçon, l'expérience que voici ne montre-t-elle pas que des bulles sortent de cette plante aquatique ?
- C'est vrai, par Zeus.
- Et celle-ci, placée dans les ténèbres, se comporte-t-elle de même ?
- Nullement.
- Ces bulles sont justement emplies de cette substance à laquelle les savants donnent le nom d'“oxygène”. En sorte que ce serait sous l'effet de la lumière que, d'après ce que tu dis, jeune élève, serait produit l'oxygène.
- Oui, parfaitement, professeur. »

Les descriptions synthétiques d'Oldroyd et de Hacking, qui reprennent les images de parcours ascendant et descendant de Bacon, Hooke et Whewell, nous incitent à inclure cet aspect dans un modèle de cheminement scientifique destiné à l'enseignement.

Ce modèle devra répondre à une première contrainte architecturale : posséder, tout comme l'Arche de la connaissance, un versant ascendant vers les *idées*, moment de mise en jeu de l'esprit créatif, et un versant descendant où s'exerce l'esprit de contrôle.

### 2.1.2.2. Modèles pédagogiques lestés de plomb

Bacon, en réaction contre ces "araignées" qui arrêtent leur pensée à leurs spéculations, demandait que les esprits soient lestés de plomb pour leur interdire tout saut et tout vol intempestif : ce vœu paraît avoir pris corps dans les salles de classe où l'hypothèse n'apparaît le plus souvent, comme nous l'avons vu, que de manière purement artificielle, introduite par le professeur ou "pêchée" dans un mot d'élève. Sans hypothèse risquée, même fautive, pas d'ascension créative, et sans celle-ci, pas de redescende inquisitrice.

Ces deux aspects peuvent pourtant paraître présents dans le schéma OHERIC, avec les étapes H et E qui s'y succèdent, schéma qu'une lecture rapide de Claude Bernard semble bien confirmer. Son succès tient à la facilité offerte par un sigle, à la simplicité avec laquelle beaucoup de parties des programmes peuvent y être adaptées, à sa logique apparente, au fait qu'il réponde à la fois aux préoccupations, réitérées par les instructions, de « concret » (avec les étapes O et E) et de suivi d'une démarche scientifique.

Ce sigle ne décrit cependant pas de manière appropriée les itinéraires habituellement suivis par les scientifiques, comme l'ont montré A. Giordan et G. Gohau en se basant notamment sur l'étude épistémologique faite par M. D. Grmek des travaux de Claude Bernard sur l'asphyxie par le monoxyde de carbone (Giordan, 1978b, p. 28-35). La démarche réelle n'est conforme ni à une induction newtonienne sans hypothèse, ni à un enchaînement simple :

« le schéma linéaire de la recherche O.H.E.R.I.C. est une simplification formulée après la découverte. Le cheminement réel est **beaucoup plus sinueux ; incertain** ; mais le chercheur laisse de son travail une image logique, rationnelle, en **oubliant les erreurs et les fausses pistes**. L'enseignant se trompe qui croit restituer la démarche réelle de la science lorsqu'il cesse de présenter la vieille méthode empirique –celle qui **prétend "déduire" les théories des observations** brutes-, pour offrir une technique plus élaborée, conforme au schéma linéaire qui précède. La recherche est plus complexe, tâtonnante. (...) la solution est elle-même construite progressivement, à **coups d'hypothèses fausses successivement corrigées** » (Giordan, 1978b, p. 32).

Sans l'émission audacieuse puis l'examen suspicieux de ces hypothèses, la démarche est dénaturée. D'autres critiques de l'utilisation de ce schéma en classe ont été formulées (par exemple par Lalanne, 1985 ; Astolfi & Develay, 1989 ; Orlandi, 1991 ; Demounem & Astolfi, 1996 ; Brunet, 1998 ; Clément, 1998). Ces critiques ont pu parvenir aux enseignants, d'autant que le doyen de l'Inspection Générale, R. Demounem, signe en 1996 avec J.-P. Astolfi une *Didactique des sciences de la vie et de la Terre* qui reprend en titre de paragraphe (p. 97) l'expression « OHERIC ne répond plus » d'A. Giordan (1978a, p. 7), que ne peuvent que transmettre les inspecteurs.

Mais des échos de cette analyse, qui indique que la démarche scientifique, *ce n'est pas* la succession OHERIC, peuvent avoir contribué à fournir aux enseignants qui craignent les hypothèses imprévues des élèves, et qui entendent dans le même temps l'insistance sur les problèmes et les activités, de bonnes raisons de mettre en œuvre des démarches de type "OPAC" (observation – problème – activité – conclusion). Schéma, à notre avis, pire encore pour la formation de l'esprit scientifique des élèves, car plus éloigné, sans hypothèses, des verticales de l'Arche de la connaissance.

## Quoi d'autre ?

C'est qu'il est plus aisé pour les enseignants d'entendre ce que cette démarche *n'est pas* que de réaliser *ce qu'elle est* : on détruit un modèle certes « mauvais », mais en laissant, nous semble-t-il, la place vide. OHERIC ne répond plus, d'accord, mais qui répondra ? Bomchil et Darley, en 1998, le font en partie, par les pistes qu'ils lancent :

« La transposition de la démarche scientifique consisterait alors à distinguer trois temps : le premier dans lequel **toutes les hypothèses** rationnellement envisageables par la classe seraient prises en compte et analysées (...); le second qui consisterait à **faire des choix** selon des critères explicites ; le troisième serait une méthodologie contraignante et rigoureuse de **test des hypothèses retenues** (...). Autant d'étapes qui permettraient aux élèves de **donner et de conserver son sens** à l'ensemble de la procédure expérimentale. »

Ce qu'ils préconisent correspond aux grandes lignes de notre propre vision, et redresse l'Arche sur ses bases. Jean-Pierre Astolfi (2005) résume ainsi clairement le problème :

« Si l'on privilégie l'«**esprit scientifique**», on cherche à faire travailler les élèves **comme de jeunes chercheurs**, et il faut alors accepter ce qui est le lot de tout chercheur, à savoir le tâtonnement, le doute, les impasses, la multiplicité des hypothèses, le recommencement... et l'incertitude quant au résultat ! C'est très formateur pour la pensée, mais **long et décevant en termes de construction de savoir**. On risque de rebondir de question en question, au lieu d'aller droit au résultat escompté. »

Ce que nous souhaitons proposer se situe dans l'intermédiaire : ni un cheminement droit vers le résultat, comme avec des séquences fortement corsetées de style OHERIC dans lesquelles le professeur conduit tout, de manière visible ou cryptodogmatique, ni un travail comme de jeunes chercheurs, option certes souhaitable, mais que n'offre pas le système.

Pour notre part, nous avons en effet caractérisé, indépendamment de ce que permettent ou non l'institution et les programmes scolaires en cours, trois axes complémentaires pour la formation de l'esprit scientifique (Cariou, 2002) :

- (1) **Initiation** à la démarche scientifique par la reconstitution de ses étapes les plus formatrices, au cours de séquences d'investigation ;
- (2) **Immersion** des élèves en tant qu'acteurs dans une recherche scientifique *réelle*, sur un sujet à leur portée ;
- et (3) **Analyse** des cheminements suivis et des obstacles rencontrés dans l'histoire des sciences.

L'option «jeunes chercheurs» correspondrait à notre axe (2), que nous avons pu mettre en œuvre lorsque les programmes comportaient, en classe de Première scientifique, un horaire optionnel spécifique de «sciences expérimentales» qui y était propice, mais n'a pas été maintenu. Dans un tel axe, les élèves parcourent les montées, les descentes et les chemins de traverse d'une recherche authentique.

L'axe (3) a également pour objet de donner aux élèves une image de la recherche scientifique conforme à la réalité. Fondé sur une étude de textes scientifiques rendant compte des problèmes et des controverses historiques, cet axe permet une prise de recul par rapport aux pratiques et donne aux élèves un regard plus général sur la construction des sciences. Les voies verticales et les bifurcations sont observées de haut. Ils y rencontrent des idées anciennes qui peuvent se rapprocher de leurs propres conceptions, mesurent les obstacles qui ont dû être lentement surmontés avant d'accéder au savoir actuel. Ils y voient les savants dans leurs cheminements chaotiques, aux prises avec la résistance du réel et parfois, comme eux, avec celle de leurs idées préconçues.

Les mentions de l'histoire des sciences dans les programmes sont en augmentation, mais elles ont une visée centrée sur les contenus à travers l'histoire simplifiée, rectiligne et aplanie de découvertes, bien davantage qu'une visée épistémologique à travers celle des controverses, des tentatives infructueuses et des rebondissements.

L'axe (1), privilégié par les textes officiels, est porteur du risque de donner aux élèves une image caricaturale de la science si l'écart n'est pas nettement établi entre ces activités de classe et toute la complexité de la recherche au laboratoire. Les axes (2) et (3) minimiseraient ce risque, que l'on peut aussi tenter de réduire en rapprochant davantage les pratiques de la classe des démarches du chercheur, et en privilégiant l'initiative des élèves dans les étapes-clés de la progression.

## 2.2. Déconstruction d'OHERIC

### 2.2.1. Des étapes à reconsidérer

On remarque, dans cette formule, l'absence de questionnement (problème ou simple question), alors que le *sens du problème* est, pour Dewey comme pour Bachelard et Popper, déterminant dans les cheminements scientifiques -on a vu qu'OHERIC devenait alors, sous certaines plumes, OPHERIC. Encore importe-t-il de distinguer un authentique problème scientifique, qui correspond à une recherche d'explication, d'une question plus simple visant l'obtention d'une information, non que cette dernière quête soit sans intérêt, mais son envergure est généralement moindre puisqu'elle appelle des hypothèses factuelles, et non explicatives. Cette formule reflète aussi la primauté accordée à l'*observation*, dont tout découlerait de manière inductive.

De nombreux auteurs ont signalé l'impossibilité d'une observation neutre, "naïve". Pour Kant (1787, p. 17), nos observations ne sauraient être "faites au hasard et sans aucun plan tracé d'avance". Nous avons vu (partie 1.2.8.2.) "l'addition que nous ne distinguons pas" provenant de notre esprit (Kant, 1787) ; Chevreul (1823) définissait même le fait comme une abstraction. L'idée d'une observation *armée* se retrouve chez A. Comte (1830, p. 55) :

« pour se livrer à l'observation, notre esprit a besoin d'une théorie quelconque. Si en contemplant les phénomènes nous ne les rattachions point immédiatement à quelques principes (...), le plus souvent, les faits resteraient inaperçus à nos yeux ».

Darwin l'écrit à Lyell (1860) :

« je suis convaincu que sans théorie il n'y aurait pas d'observation. »<sup>354</sup>

Pour lui, toute observation doit être pour ou contre un point de vue, sans quoi, autant compter les pierres sans but dans une gravière (1861, voir partie 1.2.8.1.).

Nous avons vu (partie 1.2.8.3.) que pour Claude Bernard, le point de départ d'une recherche était soit une théorie, soit une observation, certes, mais contredisant les idées admises, ainsi que l'a notamment analysé M. Grmek (1991, p. 60). Les réticences de Dewey concernant la signification de l'observation en classe, à propos de la leçon de choses, sa référence à "ce que Jevons appelle observation", ont été signalées (partie 1.5.2.2.).

Einstein le dit à Heisenberg (qui le relate en 1969) :

« C'est seulement la théorie qui décide de ce qui peut être observé. Voyez-vous, l'observation est en général un processus très compliqué. »<sup>355</sup>

---

<sup>354</sup> *La vie et la correspondance de Charles Darwin*, éd. Francis Darwin, Reinwald, 1888, t. 2, p. 179.

Les élèves de terminale pourront l'avoir analysé en philosophie :

« Le point de départ de la recherche n'est pas le fait empirique considéré à part, mais le problème posé par le fait, la contradiction entre le fait découvert et les conceptions théoriques antérieures. » (Huisman et Vergez, 1994).

Carl Hempel (1966, p. 19) renverse, lui aussi, le rapport entre O et H :

« (...) la maxime selon laquelle on doit **rassembler les données** sans être guidé par une hypothèse antérieure sur les relations entre les faits qu'on étudie se détruit elle-même, et **personne ne la suit dans une recherche scientifique. En revanche** il est nécessaire de hasarder des hypothèses pour orienter une recherche. »

Alan Chalmers (1976) étudie cet aspect et y consacre un chapitre intitulé :

« La dépendance de l'observation par rapport à la théorie » (chapitre 3).

Pierre Duhem, en 1906 (IV, IV), établit combien un “constat” peut être imprégné de théorie, *et retenons la Leçon sur la méthode* de G. Canguilhem en 1942 : pas de fait qui ne soit “pénétré de théorie” (partie 1.2.9.2.). Ce que les auteurs anglo-saxons nomment *theory-laden perception*, dans ce contexte.

Ian Hacking (1999, p. 268) fait une mise au point éclairante –et humoristique– à ce sujet :

« Nous avons **tous appris à dire que les observations sont chargées de théorie**. Il y a des années, j'avais noté (1983) que beaucoup d'observations pertinentes véhiculaient de très petites charges de théorie, et en particulier qu'elles étaient peu chargées de la théorie **dans le cadre de laquelle** elles étaient censées être pertinentes. Une odeur d'œuf pourri est chargée de théorie, oui, c'est du H<sub>2</sub>S, mais ce n'est pas là une charge théorique importante. Les doctrines de charges théoriques de Norwood Russell **Hanson**, Paul **Feyerabend** et Thomas **Kuhn** nous ont **beaucoup appris** mais **ne doivent pas être exagérées**. Voir **toutes** les observations comme **également** chargées de théorie **est une observation qui est elle-même chargée de théorie**, c'est-à-dire une observation dont la charge théorique dérive des conceptions du philosophe Hanson. »

Les exemples abondent cependant, dans l'histoire des sciences, à la fois d'observations biaisées qui en “disent trop” à l'observateur –lui faisant souvent “voir” ce qu'il “pré-voit”–, et d'autres dont on s'étonne parfois, rétrospectivement, qu'elles en aient “dit si peu”.

Certaines furent sans lendemain immédiat, quand on voudrait que les élèves en tirent quelque chose de conforme au savoir actuel dans la minute.

Prenons l'exemple des cellules, dont l'observation est au programme de Troisième : observées pour la première fois par Hooke (1665), il en tira peu de choses sinon l'invention de leur nom. On voudrait que, repérant leur universalité, les élèves en fassent l'unité structurale de base du monde vivant, ce que ne parvint à faire ni Haller (1757), pour qui c'étaient les *fibres* allongées (que Diderot voit vibrantes comme celles d'un clavecin pour expliquer la pensée), ni Bichat (1801), pour qui c'étaient les *tissus*, autres termes qui se sont conservés. Il fallut attendre 1839 pour que Schwann élabore la théorie cellulaire, 176 après l'observation microscopique...

A. Giordan (1987, p 7) souligne que cet exemple illustre le propos de F. Jacob (1981) :

« Pour qu'un objet soit accessible à l'expérience, il ne suffit pas de l'apercevoir, il faut encore qu'une théorie soit prête à l'accueillir ».

---

<sup>355</sup> Heisenberg, W. (1969). *La partie et le tout*, Albin Michel, 1972, p. 94.

Bachelard parlait d'*observation polémique* (1934, p. 16), du fait qu'une observation est intéressante si elle vient heurter des connaissances établies, ou des certitudes préconçues, ce qui rejoint l'importance du sens du *problème*.

Le professeur qui regarde se dérouler l'expérience dans laquelle il a lancé ses élèves la voit avec son cadre interprétatif constitué. Il sait quel est le lien avec la connaissance qu'il vise, c'est même en partant d'elle qu'il l'a instituée. C'est, pour lui, comme un tapis rouge qu'il tend aux élèves : qu'ils aient la bonne grâce de le suivre, et les voilà infailliblement conduits au savoir. Mais il est le seul pour qui cette voie royale est apparente.

Il faudrait qu'il puisse avoir un regard naïf, qu'il puisse mettre de côté tout le savoir accumulé qui lui fait regarder le fond du tube à essais ou la lame au microscope avec les rayons de la connaissance lui sortant des yeux. Mais une telle naïveté du regard, s'il parvenait à s'y contraindre, ne serait pas encore suffisante : les regards des élèves émettent leur propre lumière, chacun avec sa propre coloration.

On peut, en fait, difficilement soutenir qu'une recherche puisse partir de la *seule* observation. Théories, observations, représentations, croyances, obstacles, acquis antérieurs, modèles, expériences "pour voir"... forment un ensemble d'où peuvent surgir les interrogations initiales. On peut distinguer, dans cet ensemble, les idées (vraies ou fausses) et les "faits" : si la plupart du temps idées anciennes et faits nouveaux se frottent pour allumer la mèche d'une investigation, les faits seuls ne peuvent le faire, tandis que les idées seules ont ce pouvoir : une simple réflexion sur les limites de ses connaissances peut suffire. On peut nommer **données initiales (Di)** cet ensemble, de composition variable d'une fois à l'autre.

Quant au contrôle de l'hypothèse, il n'est pas forcément expérimental et peut être effectué à l'aide d'observations, comme le souligne Cl. Bernard (1865) :

« Cette vérification peut être obtenue tantôt à l'aide d'une nouvelle observation (...), tantôt à l'aide d'une expérience » (p. 304).

Il prend cet exemple :

« un naturaliste qui observe des animaux dans toutes les conditions de leur existence et qui tire de ces observations des conséquences qui se trouvent vérifiées et **contrôlées par d'autres observations** » (p. 46).

On distingue aujourd'hui "démarche expérimentale", dans laquelle l'hypothèse est testée à l'aide d'une expérience, et "démarche scientifique" (sous-entendu : hypothético-déductive), type de démarche plus large dans lequel une expérience, mais aussi une observation, une simulation ou une modélisation peuvent aussi tester l'hypothèse. Ce n'est en effet pas l'expérience, le fait que l'observation de contrôle soit *provoquée* qui est déterminant dans cette démarche, mais la soumission à un test, la confrontation de l'hypothèse au réel, ou, à défaut, à un substitut du réel.

En définitive, ce sera toujours une observation, directe ou provoquée, du réel ou d'un de ses substituts, qui servira de contrôle à l'hypothèse : on recueille dans tous les cas, par l'analyse des résultats, des données nouvelles qui nous semblent utiles pour expliquer.

## 2.2.2. Linéarité illusoire

Une autre critique majeure adressée au modèle OHERIC concerne l'immuable linéarité des étapes, paraissant devoir se succéder sans heurts ni déviations. Si la démarche est linéaire, c'est que ce n'est sûrement pas celle des élèves mais celle de l'enseignant qui est suivie. C'est ce qui arrive quand on va "piocher" la bonne hypothèse dans les suggestions des élèves, pour pouvoir (enfin) passer à l'expérience. Rien pourtant n'interdit de prendre en compte diverses hypothèses d'élèves dès lors qu'elles sont logiques, ce qui ne signifie pas qu'il soit nécessaire de toutes les tester

expérimentalement, et de leur laisser suggérer puis mettre en œuvre les tests appropriés : nous reviendrons sur l'aspect pratique d'une telle procédure. Le cheminement intellectuel habituel d'un enseignement de type OPAC ne permet pas davantage les bifurcations. Il se présente souvent comme dans l'exemple suivant (dans lequel l'activité est une expérience)

- Une observation initiale (réelle ou fournie par un "document d'appel") est destinée à introduire la question ou le problème de la séance :
- « Nous nous demandons comment il se fait (ou il se peut) que..., ou quel est... » (Problème ou question).
- « Pour résoudre ce problème, vous allez faire telle expérience » (Activité). Ce qui revient à : quand vous faites ça, vous voyez ça.
- « Alors ? Qui a une idée ? »

Si l'activité est « pour résoudre ce problème, vous allez faire telle observation » ou « vous allez étudier tel document », la logique du cheminement est la même : « quand vous faites ça, vous voyez ça » est remplacé par « quand vous regardez là, vous voyez ça » ou « quand on fait ça, on voit ça », avec la même suite : « Alors ? Qui a une idée ? » Tous ont une idée, si vraiment ils se demandent comment il se fait (ou il se peut) que... Mais ce n'est pas cette idée là qui leur est demandé, qui peut être différente d'un élève à l'autre, qui peut être très lointaine de celle qu'attend le professeur. Sa question est : « qui a *l'idée qu'il me faut* pour la suite de mon cours », avec, souvent, sous-entendu : « dépêchez-vous, on n'a pas que ça à faire. »

L'avancement rectiligne souhaité correspond fort peu aux errances des itinéraires des chercheurs. Elles nous sont connues par les narrations que certains des scientifiques eux-mêmes ont pu en faire, dans des récits où leur objectif premier n'était pas la présentation de résultats. Ainsi peut-on suivre les nombreux détours de la pensée de Kepler, ou, parmi les auteurs modernes, de James Watson (1968), Peter Medawar (1986, l'une des sous-parties s'intitule même *Mistakes*), François Jacob (1987) ou Francis Crick (1988). Mais aussi convaincantes que puissent paraître les descriptions des démarches suivies lors de recherches, elles comportent le risque, lorsqu'elles sont faites par leur auteur, d'être réarrangées pour leur présentation, consciemment ou non, faute d'un regard extérieur objectif sur la succession des étapes décrites. C'est ce qu'ont montré Georges Canguilhem (1968) et Mirko Grmek (1973, 1991) chez Claude Bernard. Et si l'enseignant décide de s'en inspirer pour la démarche à suivre en classe, il risque d'être lui-même victime de ce biais. Plus instructives encore sur les étapes suivies par les chercheurs sont les analyses de notes de laboratoire effectuées par divers historiens des sciences : nous avons ainsi suivi (dans la partie 1.2.8.1.) Mirko Grmek narrant comment, dans les travaux de Claude Bernard, s'efface *après coup* le « feu d'artifice de mille et une hypothèses » (1991, p. 108), ce qu'avait déjà remarqué Whewell.

Les travaux fouillés de Grmek (1973) sont pour nous d'autant plus intéressants que ce sont ceux qui ont montré, en comparant ses notes de laboratoire avec les récits ultérieurs de ses travaux, que Claude Bernard ne procédait pas selon un schéma simple tel celui que représente la formule OHERIC, et que seule la présentation finale prenait la forme d'une succession idéalisée et reconstruite.

« Contrôlés et éclairés par les manuscrits, les exemples de l'*Introduction* prennent une signification nouvelle. Les raisonnements clairs et élégants des textes imprimés cachent une **réalité complexe** : **cours tortueux** des recherches, **piétinements, échecs, éclairs** de génie, que seul le témoignage des manuscrits nous fait maintenant entrevoir. » (1991, p. 19).

Mais si cet examen critique nous a permis de savoir *comment ne procédait pas* un chercheur comme Cl. Bernard, on a souvent omis de considérer qu'il nous permettait, dans le même temps, de découvrir *quelle était sa démarche* effective !

Déjà Canguilhem (1968, p. 168) parle des « aventures expérimentales » de Cl. Bernard,

« dans le laboratoire où des hypothèses **librement, sinon arbitrairement imaginées** l'ont conduit, à **travers déceptions ou échecs**, à des réalités **imprévues**. »

Et c'est aussi cet aspect qui peut être profitable à l'enseignant scientifique. Car si les travaux de Grmek sont souvent cités, c'est pour leur versant critique, destructeur, celui qui permet de dire aux enseignants qu'ils se fourvoient –et qui les laisse démunis. Mais poursuivre la lecture plus avant permet d'aborder son versant *constructeur*, qui établit quelle était la démarche bernardienne *réelle*, soumise au regard rigoureux de l'historien des sciences :

« Face à des faits nouveaux, Claude Bernard laissait **libre cours à son imagination**, inventait plusieurs **hypothèses possibles** et, en fonction des déductions faites à partir de ces hypothèses, procédait à **l'expérimentation**. Les expériences **vérifiaient ou renversaient** ses suppositions. » (1991, p. 108).

La ligne directrice paraît claire, en dépit des enchevêtrements.

« Le schéma bernardien : observation → hypothèse → expérience, nous paraît **correct seulement en tant que modèle simplifié**, élément d'un enchaînement n'aspirant à représenter la réalité qu'en **première approximation**. Le processus réel de la découverte est un jeu continu d'actions et de rétroactions entre la pensée et l'observation, entre la théorie et la pratique. L'une ne va pas sans l'autre. Si l'enchaînement se fait comme l'indique le schéma de Bernard, il ne consiste certainement **pas en une seule série linéaire de triplets** mais dans la **superposition de plusieurs réponses enchevêtrées**. » (1991, p. 89).

On peut donc accroître la correction de ce modèle simplifié de première approximation en laissant libre cours à l'imagination des élèves dans l'invention d'hypothèses possibles, ainsi qu'en les laissant en déduire des expérimentations appropriées. Ce faisant, les investigations des élèves peuvent présenter, à leur échelle, cet aspect buissonnant de la découverte, pour peu que l'on prenne en compte leurs hypothèses même fausses (mais logiques), et qu'il soit possible d'explorer les voies latérales rencontrées chemin faisant.

Les travaux de Grmek sont salutaires parce qu'ils permettent de se dégager d'une certaine naïveté épistémologique. Mais nous estimons qu'ils fournissent aussi la base pour une nouvelle fondation. Pour mieux illustrer ce « réarrangement rationnel du processus de la découverte », Grmek cite des travaux similaires sur des documents de première main concernant la genèse de soixante-dix inventions modernes (1991, p. 89-90), révélant la distorsion des faits historiques par les inventeurs eux-mêmes. Il cite également l'ouvrage d'E. Wolff (*Les chemins de la vie*, 1963) :

« Étienne Wolff trace de façon admirable la **route tortueuse** qu'emprunte la recherche scientifique et souligne la **simplification a posteriori** du travail expérimental. » (1991, p. 90).

Les auteurs présentent leurs travaux en en gommant les péripéties, qui ne sauraient intéresser les lecteurs pressés. Il est tellement tentant, pour le chercheur, de tracer la voie royale vers la découverte qu'il aurait dû suivre, plutôt que la succession de réorientations qui fut son lot. C'est l'élément irrationnel dont parlait Popper, les errances du premier esprit scientifique de Gohau, pudiquement balayées sous le tapis, itinéraire moins avouable sans doute, sauf pour un narrateur d'une désarmante honnêteté tel que Kepler.

En contrepoint de ces avancées erratiques, prenons un exemple moins sinueux soumis à la vigilance de Grmek (1973, p. 92-93), qui s'inscrit dans les travaux sur le mécanisme de l'empoisonnement par le monoxyde de carbone, thème préconisé dans le programme de Seconde.

Il s'agit de la démarche suivie en avril 1853 au sujet du problème de la variation du quotient respiratoire (QR). L'intérêt ici est que ce n'est pas le célèbre physiologiste qui parle, reconstruisant après coup sa démarche, mais l'historien des sciences, qui suit pas à pas ses notes de laboratoire.

Claude Bernard prend connaissance des **résultats** de Reignault et Reiset qui montrent que les animaux en état de jeûne ou nourris exclusivement avec des matières grasses absorbent plus d'oxygène qu'ils n'exhalent de gaz carbonique. En outre, pendant la digestion, le QR varie de 0,6 à 1, « au lieu de correspondre à la valeur constante de 85/100 exigée par la **théorie** ». Grmek parle des « **problèmes** posés par les découvertes de Reignault et Reiset sur le quotient respiratoire ».

« Pour expliquer ces faits expérimentaux, Bernard **supposa** que le sang change sa capacité d'absorption des gaz en fonction de divers facteurs internes ou externes. Il fit alors appel à des **expériences** (...). Le 2 avril 1853, il prit du sang sortant des veines hépatiques d'un chien (...). Comment **interpréter** ces expériences ? (...) Autant de questions sans réponses. ».

Bernard tente alors une approche quantitative :

« (...) cette **expérience** très rudimentaire donna des **résultats** qui sont en accord parfait avec nos connaissances actuelles (...). Sans attendre, c'est-à-dire déjà le 30 avril 1853, Bernard informa la Société de Biologie que, en cherchant l'explication des variations du quotient respiratoire observées par Reignault, il avait constaté un fait jusqu'alors ignoré (...) ». (Grmek 1973, pp. 92-93).

En résumé :

| Données initiales       | problème                                    | hypothèse                  | expériences    | résultats                      | interprétation   | conclusions   |
|-------------------------|---|----------------------------|----------------|--------------------------------|--|---|
| résultats de Reignault  | des variations de QR à jeun et en digestion | sur les propriétés du sang | 1 qualitative  | changements de couleur du sang | ne parvient pas à interpréter (" Autant de questions sans réponses ")                                      | " les animaux à jeun consommeraient beaucoup d'oxygène parce que... et les animaux en digestion en consommeraient moins à cause de... " |
| théorie (QR invariable) |   |                            | 2 quantitative | absorption d'oxygène           | " le sang est d'autant moins apte à absorber l'oxygène qu'il contient une plus forte proportion de sucre " |   |

**Démarche suivie par Cl. Bernard dans ses travaux sur l'empoisonnement par le monoxyde de carbone (1853)**

Si un tel enchaînement simple, décrit par Grmek lui-même et donc **au-dessus du soupçon de réarrangement a posteriori**, n'est pas la règle, il montre qu'il n'y a pas non plus de fatalité à ce qu'il ne se produise jamais ! Tout comme les astrologues, pour paraphraser un trait de Voltaire, *les scientifiques ne sauraient avoir le privilège de se fourvoyer tout le temps dans leurs démarches !...*

Un autre exemple historique, abordable dans l'actuel programme de Première scientifique, est édifiant : la découverte par Otto Loewi en 1921 de ce que l'on nommera plus tard les neurotransmetteurs. G. R. Taylor (1963, p. 296-299) narre cette découverte, dont la relation est parfois bien distordue dans les manuels scolaires. On savait depuis 1866 (Ludwig et Cyon) que certaines fibres nerveuses accéléraient le cœur tandis que d'autres le ralentissaient.

**Le problème** : en 1903, Otto Loewi se demandait pourquoi les nerfs cardiaques avaient des effets opposés, alors que les manifestations électriques de ces nerfs étaient à peu près identiques.

**Les hypothèses** : il imagine qu'il pourrait y avoir un lien entre ce fait et la façon dont certaines drogues stimulent tandis que d'autres dépriment. Il suggère que deux nerfs libèrent des substances chimiques différentes à leurs extrémités lorsqu'ils sont stimulés.

« On avait pensé pendant longtemps qu'une certaine "substance chimique de transmission" devait intervenir et Sir Henry Dale avait, en 1914, suggéré l'acétylcholine » (Taylor, 1963, p. 296).

**Le test expérimental** : laissons Loewi (1960) narrer lui-même la suite, l'inspiration lui venant en pleine nuit.

« Je m'éveillai, allumai la lumière, et jetai quelques notes sur un petit bout de papier. Puis je me rendormis. Il me revint à six heures du matin que j'avais écrit quelque chose de très important, mais j'étais incapable de déchiffrer mon écriture. Ce dimanche fut le jour le plus désespéré de toute ma vie scientifique. La nuit suivante, à trois heures du matin, l'idée me revint. C'était celle d'une expérience permettant de déterminer si oui ou non **l'hypothèse de la transmission chimique que j'avais formulée dix-sept ans auparavant** était correcte. Je me levai immédiatement, me rendis au laboratoire, fis une simple expérience sur un cœur de grenouille en accord avec mon intuition nocturne. »

Un bel exemple d'avancée progressive, pour lequel les écarts dans le temps permettent de bien identifier les étapes suivies.

Cet épisode étant relaté dans un encadré de manuel scolaire de lycée en 2001<sup>356</sup>, il est instructif, du point de vue du traitement de l'hypothèse, de voir la reconstruction qui en est proposée :

« **Une expérience historique - La transmission synaptique**

En 1921, le pharmacologue Otto Loewi **réalise une expérience** concernant la transmission synaptique. Ayant **prélevé** le cœur d'une grenouille avec son innervation parasympathique (vous avez vu en Seconde que le nerf vague est capable de diminuer la fréquence des battements du cœur), il le **place** sous perfusion d'une solution saline et **constate** qu'il continue à battre normalement. Il **prélève** alors le cœur d'une seconde grenouille, cette fois sans ses nerfs, et le plonge dans cette solution saline. Là encore, le cœur bat normalement. Il **stimule** le nerf vague associé au premier cœur : ses battements ralentissent. Il **le sort** alors de la solution saline, **y place** le second cœur qui se met à ralentir en dehors de toute stimulation nerveuse...

**Loewi formule alors l'hypothèse** qu'une substance chimique, le Vagusstoff ou substance vagale, résultant de la stimulation du nerf parasympathique du premier cœur, a été libérée dans le liquide de perfusion. Il lui faudra douze années **pour démontrer** que cette substance est l'acétylcholine. **Multipliant les expériences**, Loewi constate qu'en stimulant les nerfs sympathiques (...), il obtient une accélération des battements cardiaques. C'est 25 ans plus tard que le physiologiste suédois U.S. von Euler identifiera cette substance comme étant la noradrénaline. »

« Loewi formule **alors** l'hypothèse » : celle-ci paraît n'intervenir qu'*après* plusieurs expériences, en contradiction flagrante avec le récit de Loewi puisqu'elle la précède d'une vingtaine d'années, et l'élève ne sait pas, dans ce récit, pourquoi le chercheur prélève un cœur, puis un autre, l'un avec nerf et l'autre sans, il ne sait pas davantage pourquoi le second cœur remplace le premier dans la solution saline. Et quand l'hypothèse paraît, elle ne sert de fil directeur à aucune expérience : seul le nom et la nature de la substance paraît importer. Suit une nouvelle "multiplication des expériences", mais cette fois sur les autres nerfs et conduisant à une autre découverte : le lien expériences-découvertes paraît direct, comme d'ailleurs le suggère le titre même donné à cet encadré. Une narration en conformité avec ce que vit l'élève par ailleurs quand, en arrivant en classe, on lui fait faire une série d'observations ou d'expériences dont il ne connaît pas le sens, mais d'où jaillira la "découverte".

Cet exemple illustre aussi quel type de participation à l'enseignement peut prendre part une histoire des sciences biaisée.

Or la suite de l'histoire de la transmission synaptique nous fournit des indications précieuses sur certains aspects psychologiques des démarches à mettre en œuvre en classe. Après ces travaux qui lui ont valu le prix Nobel en 1936, Loewi soutient en effet que la transmission synaptique entre cellules nerveuses est chimique, contre John C. Eccles, élève du grand Sherrington et l'un des premiers utilisateurs de microélectrodes, spécialiste des potentiels post-synaptiques (PPS), qui la pense électrique. Eccles suit « les idées conventionnelles sur la recherche scientifique » :

---

<sup>356</sup> *Sciences de la Vie et de la Terre*, 1<sup>re</sup> S, Nathan, p. 208.

« (...) selon la vision inductive de la science (...) c'est un **signe de faillite**, hautement regrettable, lorsqu'un scientifique épouse une hypothèse qui est réfutée par de nouvelles données et doit être mise au rencart. »<sup>357</sup>

Mais Eccles se rend bientôt compte qu'il est dans ce cas :

« C'était là mon malheur. J'avais épousé pendant longtemps **une hypothèse qui**, j'en vins à le suspecter, **devait être mise au rencart**, et j'étais dans un état d'extrême dépression à ce sujet. »

Heureusement, un changement d'état d'esprit, relativement à sa vision de la recherche scientifique, s'opère bientôt chez Eccles :

« Ce fut à cette époque que je rencontrai **Popper**. Parmi les choses importantes que j'appris de lui, la plus importante peut-être fut qu'**il n'était pas déshonorant de voir ses hypothèses favorites réfutées**. Ce fut la meilleure nouvelle que j'aie eue depuis longtemps. Popper me persuada, en fait, de formuler mes hypothèses électriques de la transmission synaptique excitatrice et inhibitrice avec suffisamment de précision et de rigueur **pour susciter une réfutation** expérimentale stricte : et ce fut ce qui leur arriva quelques années plus tard, et pour une large part dans une aventure entreprise en commun par mes collègues et moi-même, lorsqu'en 1951 nous commençâmes à faire des enregistrements intracellulaires de motoneurones. »

Eccles se rallie à l'hypothèse adverse, poursuit ses travaux sur la synapse, utilisant le réflexe myotatique comme modèle, et reçoit finalement pour ceux-ci le prix Nobel en 1963. Sa biographie Nobel commente :

« Il a le sentiment que cette **relation aux hypothèses** a non seulement **accru son pouvoir conceptuel**, mais l'a aussi grandement **aidé émotionnellement** ! Il peut désormais se réjouir même de la réfutation d'une théorie chérie, car **cela aussi est un succès scientifique**. »

Quelle leçon ! Nos élèves sont justement, généralement, dans le premier état d'esprit d'Eccles : on voit tout l'effet psychologique possible d'insister non sur l'exactitude *a priori* d'une hypothèse, mais seulement sur sa recevabilité et sa cohérence. Tomber sur la bonne solution n'a pas une importance cruciale et n'est pas davantage valorisable que proposer une solution logique, qui peut-être sera fautive : on ne peut pas savoir puisque, justement, on cherche !

Toutes les grandes notions issues des travaux de neurophysiologie de Loewi et Eccles sont au programme de la série scientifique du lycée : neurotransmetteurs, réflexe myotatique, PPS. À l'inverse de la présentation historique du type de celle du manuel scolaire présentée ci-dessus, qui montre les chercheurs allant droit au but par leurs multiples expériences, on peut mesurer tout l'intérêt qu'il y aurait, pour l'état d'esprit des élèves, à porter à leur connaissance le désespoir d'Eccles devant son hypothèse « mise au rencart », sort que pourraient aussi subir les leur, et comment il s'en releva.

Celui qui "avait juste" (Loewi) se retrouve avec le prix Nobel, mais celui qui "avait faux" (Eccles)... aussi !

Pour la petite histoire, la transmission est bien chimique et le neurotransmetteur se fixe sur une molécule réceptrice étudiée par J.-P. Changeux en 1970 et qui est... allostérique.

L'essentiel est ici de se rappeler que si des démarches linéaires comme celle de Loewi sont peu courantes comparativement aux changements de direction comme celui de Eccles, rien ne les

---

<sup>357</sup> Cet extrait de Eccles et les suivants sont cités dans Debru, C. (1987). *Philosophie moléculaire*. Monod, Wyman, Changeux, Vrinn, p. 184-185 ; reproduits dans Duris, P. et Gohau, G. (1997), p. 305-306, épisode également narré dans les *Nobel Lectures, Physiology Or Medicine: 1963-1970*, World Scientific, 1999, p. 29, disponible sur le site de la Nobel Foundation : [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1963/eccles-bio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1963/eccles-bio.html)

interdit non plus. En didactique, le souci doit être, si les élèves adoptent une telle succession simple en classe, de ne pas les laisser croire qu'elle se rencontre toujours avec autant de limpidité.

La figure suivante fournit une vision synthétique des cheminements désarticulés habituels de la recherche scientifique, que l'on retrouve présentés sous une forme voisine dans les schémas proposés par J. Lalanne (1985) à l'issue de l'analyse des voies de la découverte chez différents chercheurs : Needham, Spallanzani, Claude Bernard, Pasteur, Watson et Crick<sup>358</sup>... Elle permet d'illustrer le fait qu'une investigation peut partir dans plusieurs directions et que ses premières étapes peuvent être revisitées. Elle permet aussi de dégager ces pôles majeurs que sont le passage par le stade de l'hypothèse et, une fois celle-ci émise et retenue, le recours aux tests.

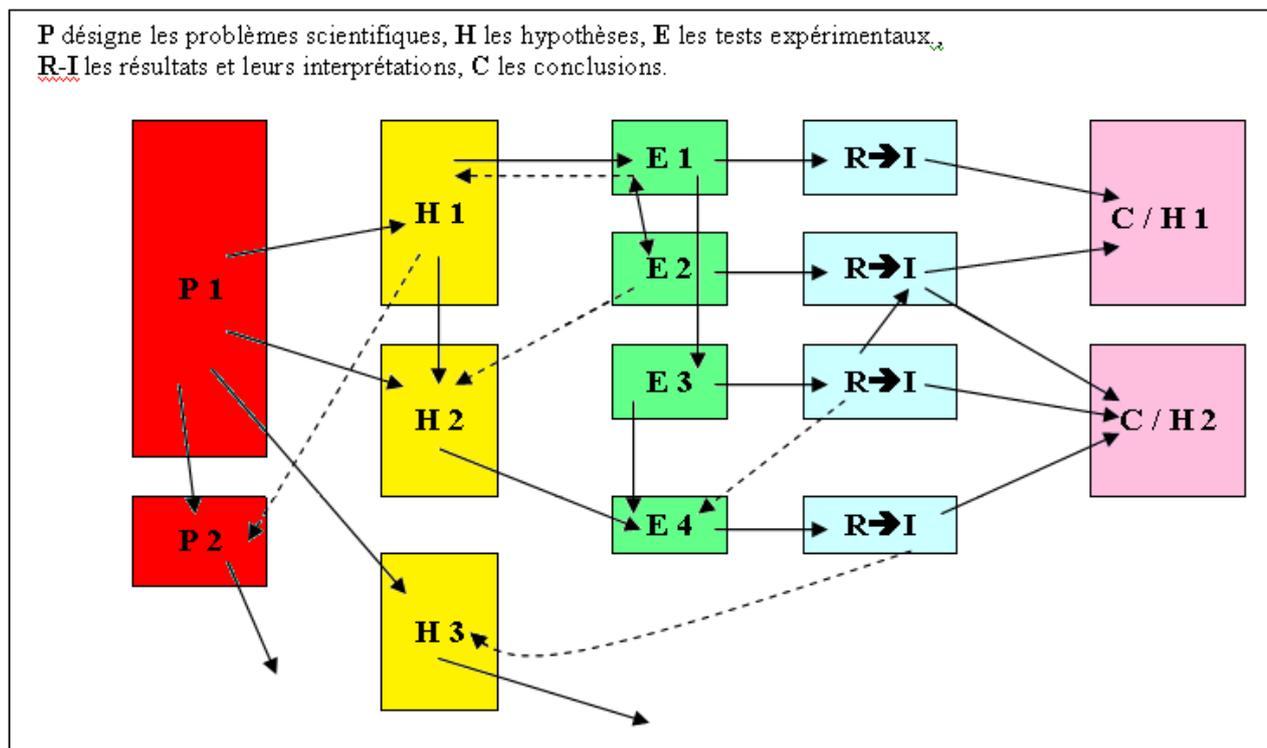


Figure 4. Arabesques sur les chemins de la découverte

Autant dire que si l'objectif est de placer les élèves *dans le vécu de la science* qui se fait, ce ne peut se faire qu'en les laissant emprunter des routes tortueuses (axe 2). Mais *si l'objectif est épistémologique* : savoir comment la science se construit, on aura tout intérêt à leur faire étudier l'histoire des sciences... et à les nourrir des réflexions, telles que celles qui précèdent, sur les chemins de traverses de la connaissance (axe 3). *Si l'objectif est méthodologique*, il en va tout autrement : établir des liens cohérents entre un problème, une ou des hypothèses, en discerner des conséquences testables... participe, sans conteste, à la formation de l'esprit scientifique (axe 1). Mais il doit alors être bien clair pour tout le monde que, d'une part, ce n'est pas parce que l'étape

<sup>358</sup> D'autres ouvrages ont été consultés dans le cadre de l'élaboration de cette vision simplifiée, parmi lesquels, sur l'histoire des sciences, Singer, 1934 ; Rostand, 1945 ; Crombie, 1952 ; Guyénot, 1957 ; Loewi, 1960 ; Taylor, 1963 ; Wolff, 1963 ; Théodoridès, 1965 ; Monod, 1970 ; Losee, 1972 ; Gohau, 1978, 1987 ; Mayr, 1982 ; Rosmorduc, 1985 ; Jacob, 1987 ; Giordan, 1987 ; Ronan, 1988 ; Grmek, 1990 ; Shapin, 1996 ; sur l'histoire des méthodes, Bénézé, 1954 ; Leclerq, 1960 ; Baja, 1969 ; Nicolle, 1994 ; et sur l'épistémologie Duhem, 1906, 1908 ; Toulmin, 1961 ; Hempel, 1966 ; Bartholy, Despin et Grandpierre, 1978 ; Désautels et Nadeau, 1984 ; Oldroyd, 1986 ; Thom, 1986 ; Hamburger, 1986 ; Fourez, 1988 ; Serres, 1989 ; Jarrosson, 1992 ; Stengers, 1993 ; Huisman et Vergez, 1994 ; Laszlo, 1999 ; Andler et al., 2002 ; Wagner (dir.), 2002 ; Verhaeghe, Wolfs, Simon et Compère, 2004.

suivante *paraît logique* qu'elle est pour autant *prévisible*, et que, d'autre part, les élèves d'un lycée ne feront pas en deux heures ce qui prit deux ans à Louis Pasteur.

### 2.2.3. Absence de mode d'emploi

Quand bien même les étapes successives répertoriées correspondraient-elles parfaitement à celles d'une recherche en laboratoire, qu'un tel modèle descriptif ne pourrait servir d'outil pédagogique pour l'initiation aux démarches scientifiques qu'en y adjoignant un *mode d'emploi* : ainsi, par exemple, la simple présence d'expériences ne suffit pas pour parler d'une démarche expérimentale des élèves, et ni leur mise en œuvre à la suite d'une hypothèse, ni même la mention explicite de leur rôle de test n'y autorisent davantage.

Leur *faire vivre* une démarche de recherche n'est pas la même chose que leur *faire suivre* une reconstitution artificielle peu instructive, et l'on retrouve ici les paroles fortes de Dewey et de Piaget sur la liberté d'initiative des élèves (partie 1.2.5.4.) : un mode d'emploi paraît nécessaire pour déterminer *qui fait quoi*, quelle est la part de l'élève et celle du professeur. Où ce dernier s'abstient-il d'intervenir, où se le permet-il ?

La présence formelle d'une hypothèse ne saurait ainsi tenir lieu de relief intellectuel s'il ne s'agit pas d'une tentative risquée, avancée avec incertitude par des élèves, parmi d'autres options possibles, pour tenter de se dépêtrer d'une énigme scientifique par leurs propres forces. Sans une telle précision des rôles dévolus à chacun, tout professeur qui *fait faire* des activités à ses élèves pourra, souvent même de bonne foi, les déclarer *en investigation*, en *situation de recherche*, mettant *la main à la pâte*, et être lui-même en *Science Inquiry Teaching*, selon l'appropriation aisée de ces termes que nous avons décrite (parties 1.1.3.2. et 1.1.4.4.).

## 2.3. Des modèles didactiques fondés sur l'épistémologie

Ainsi que l'estime Darley (1996),

« (...) l'absence de consensus sur ce que doit être la démarche scientifique ne doit pas être prétexte à laisser le champ libre à un **apprentissage empirique à l'épistémologie mal contrôlée.** »

C'est dans cet esprit que différentes schématisations des démarches scientifiques ont été construites, représentant l'activité de recherche elle-même tout en s'inscrivant dans une perspective didactique. Dans les figures suivantes, des couleurs sont ajoutées aux schémas originaux afin de mieux rendre visibles, de l'un à l'autre, la correspondance entre les différentes étapes identifiées par les auteurs. Nous y adjoignons, en vis-à-vis, des "pastilles" dotées chacune d'une lettre caractérisant l'étape concernée :

| ETAPE SIGNALEE                                 | SYMBOLE |            |
|--|---------|------------|
|  | Couleur | "Pastille" |
| Données précédant la formulation d'un problème |         | D          |
| Formulation d'un problème                      |         | P          |
| Formulation d'hypothèse(s)                     |         | H          |
| Test(s) de la ou des hypothèse(s)              |         | T          |
| Résultat(s) du ou des test(s)                  |         | R          |
| Interprétation                                 |         | I          |
| Conclusion(s)                                  |         | C          |

Ainsi, M. Develay (1989) propose-t-il, en s'appuyant sur une approche épistémologique, de caractériser les phases suivantes au cours de la "méthode expérimentale" :

1. La phase de formulation du problème (à partir d'une volonté de connaissance gratuite ou d'une observation surprenante) ;
2. L'émission d'une hypothèse ;
3. La vérification de l'hypothèse : dans une démarche scientifique, par observation, expérimentation, recherches documentaires, enquêtes...
4. L'interprétation des résultats.

Le schéma présenté figure 5 est alors introduit en ces termes :

« Le schéma que nous proposons ci-après matérialise les **différentes étapes de la méthode expérimentale dans des situations d'enseignement**, [qui] ne sont pas tant à penser chronologiquement que interactivement. Ainsi l'émission d'hypothèses n'existe parfois que parce que le sujet a présent à l'esprit les conditions de mise à l'épreuve de cette hypothèse, parce qu'il envisage, en même temps qu'il propose une hypothèse, l'expérience qu'il pourra conduire pour la confirmer. L'expérience aussi n'est parfois rendue possible que parce que les conditions de son interprétation sont réunies avant qu'elle ne soit mise en œuvre. »

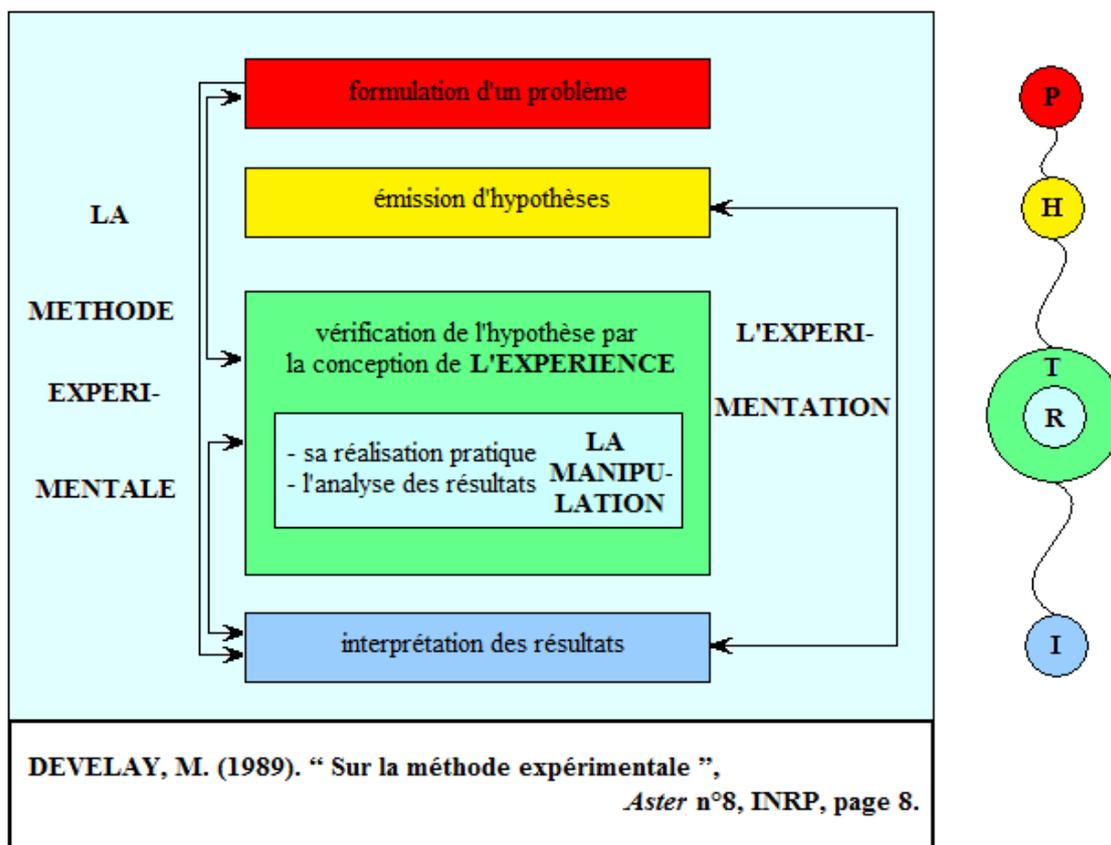


Figure 5. Modèle de Michel Develay (1989)

D'autres schématisations, ancrées dans des descriptions plus ou moins complexes des itinéraires scientifiques en laboratoire, sont présentées dans des ouvrages didactiques. D. Gil-Perez (1993) fonde son approche sur un diagramme du processus de recherche pour proposer un apprentissage des sciences (figure 8) diagramme repris par Furio Mas et al. (1994). G. Robardet et J.-C. Guillaud (1997, p. 84-85), citant les réflexions de Bachelard sur l'esprit scientifique et le sens du problème, s'appuient sur celles-ci pour introduire ainsi leur schéma de la démarche hypothético-déductive (figure 9) :

« Ces mots se passent de commentaires. Ils nous suggèrent néanmoins l'impérieuse nécessité de **transposer** le plus souvent possible cette démarche **à la classe** de physique. »

A. Giordan (1999, p. 53) se base de même sur le développement de la démarche expérimentale en laboratoire (figure 10), en soulignant les interactions permanentes entre questions, hypothèses et expériences, pour tracer des objectifs possibles sur le plan éducatif.

Au travers de ces différentes représentations, qui mettent chacune en relief plutôt certains aspects du cheminement scientifique (ses phases centrales (figure 7), finales (figure 8), initiales (figure 9) ou les interactions entre elles (figure 10)), la correspondance des couleurs permet d'identifier les mêmes grandes étapes, que symbolisent les "pastilles" positionnées latéralement.

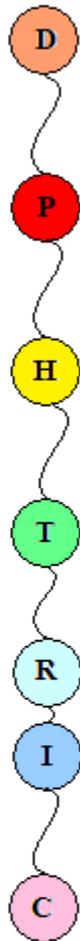
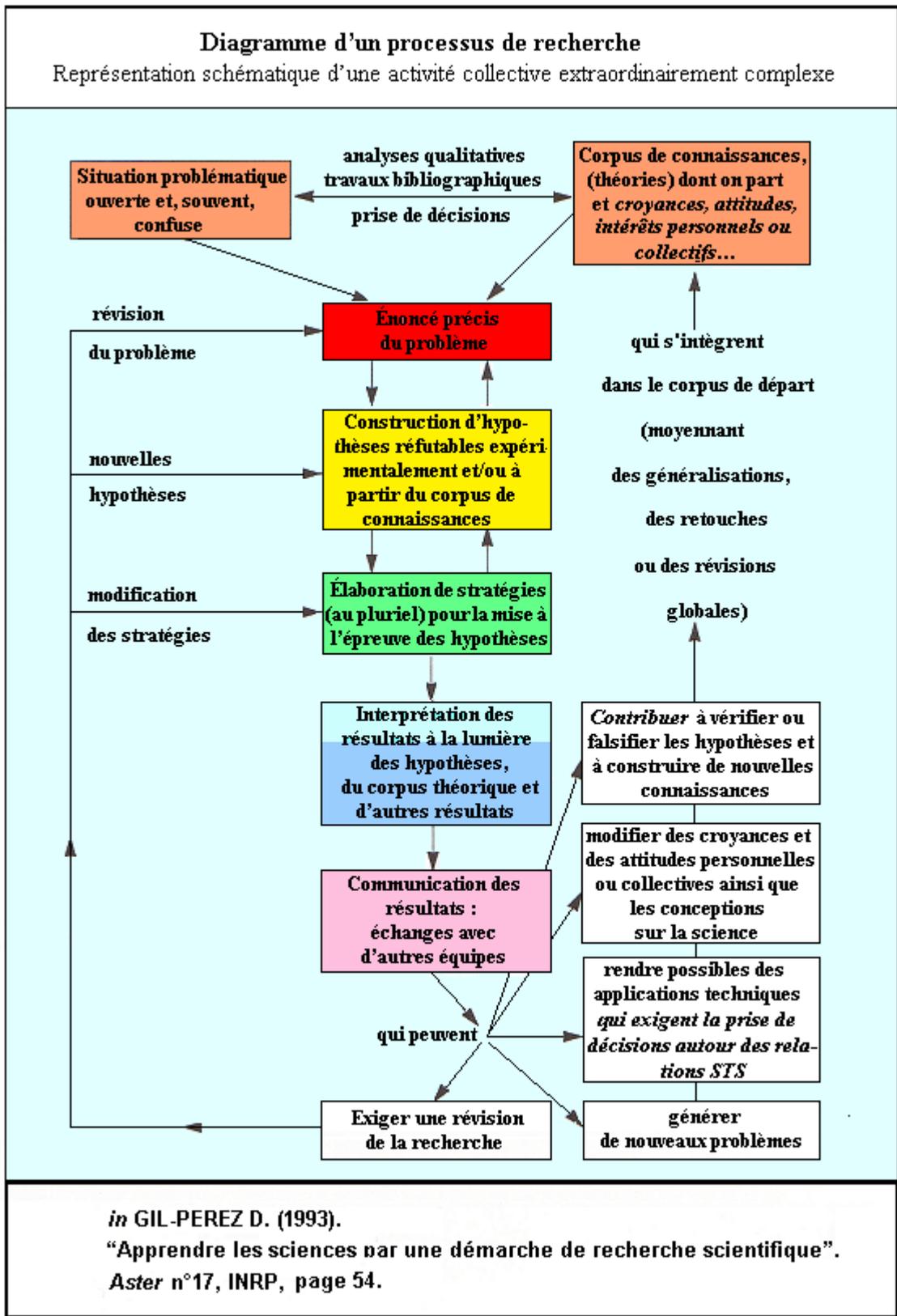


Figure 6. Modèle de Daniel Gil-Perez (1993)

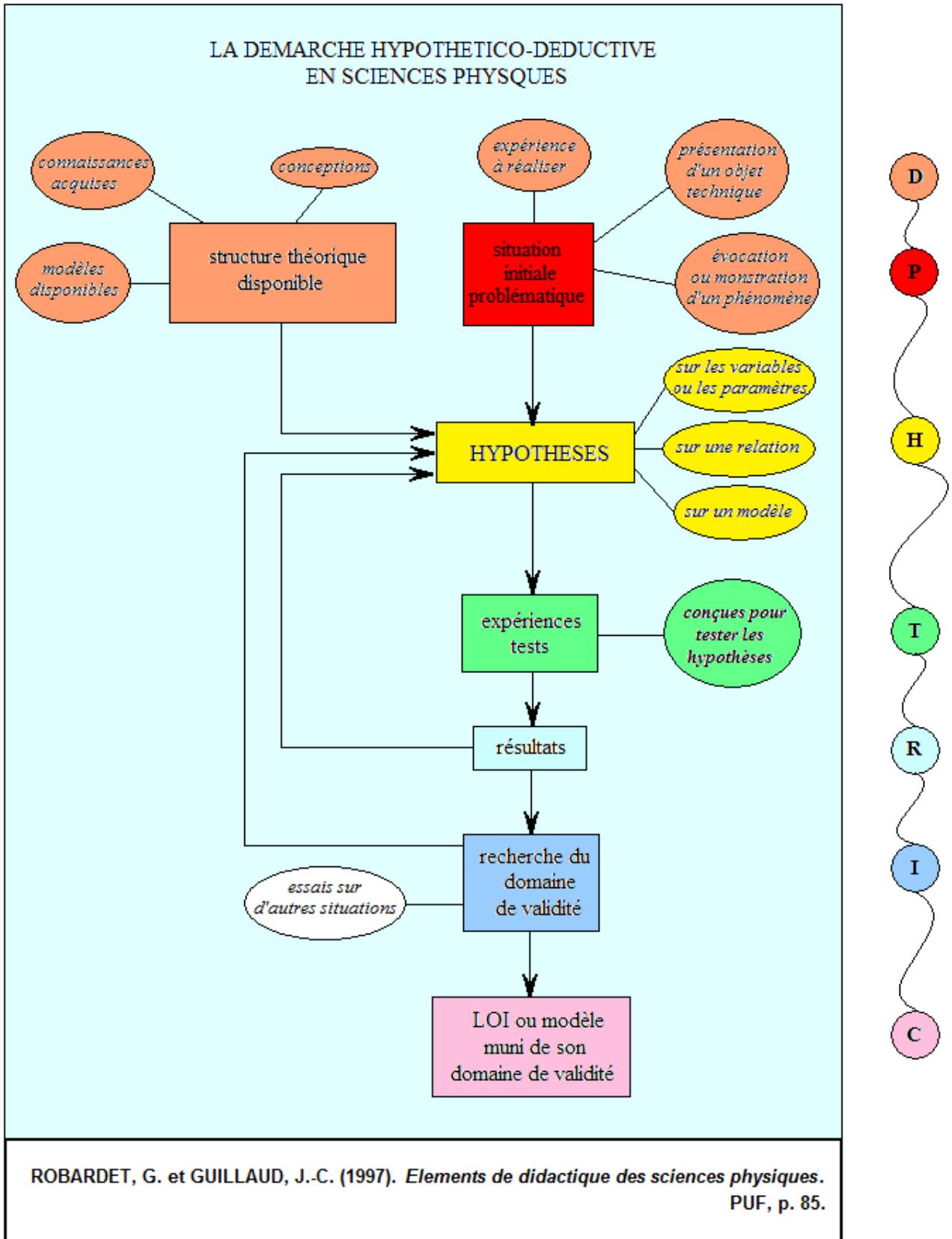


Figure 7. Modèle de Guy Robardet et Jean-Claude Guillaud (1997)

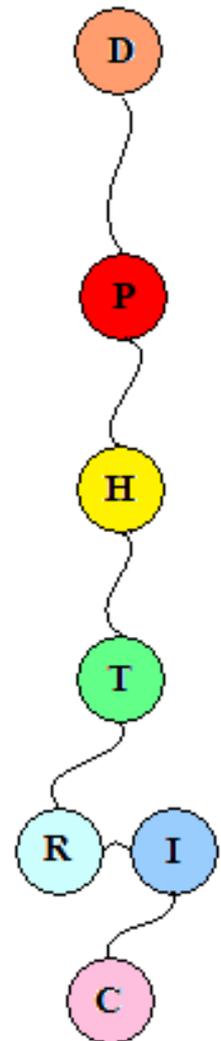
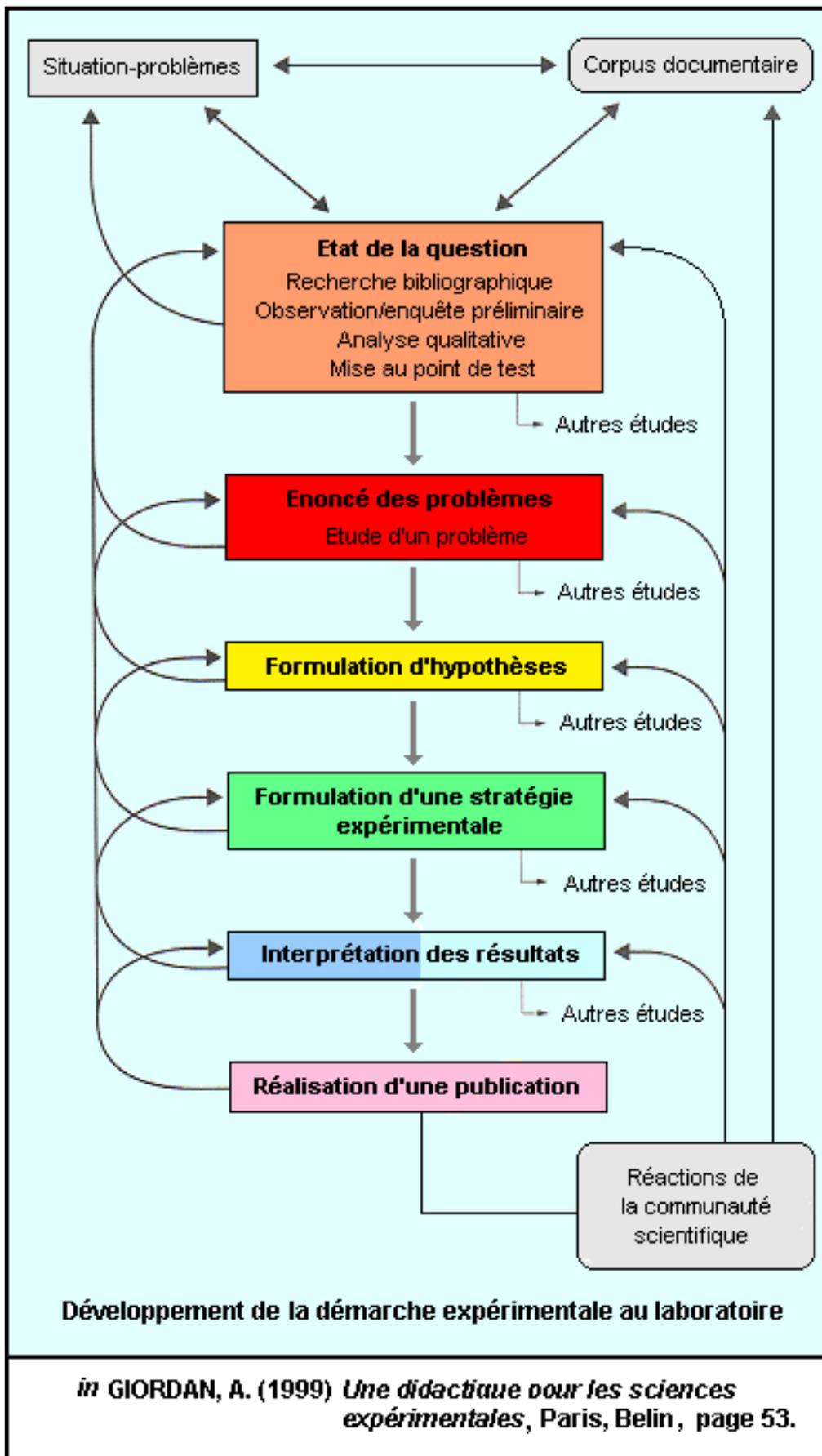


Figure 8. Modèle d'André Giordan (1999)

Plus ces modèles sont complets et précis et plus ils sont proches de la réalité du laboratoire, mais moins, dans le même temps, ils sont aisés à manier pédagogiquement. Inversement, un modèle est d'autant plus abordable pour un enseignant qu'il sera épuré et synthétique, mais alors il perd en authenticité ce qu'il gagne en simplicité.

Il apparaît cependant qu'au sein d'un réseau d'interactions entre étapes, la colonne vertébrale générale suivante puisse être dégagée : à partir de données d'origines variées, un problème scientifique apparaît, qui conduit à la formulation d'hypothèses. Des stratégies sont alors imaginées pour tester des conséquences déduites de celles-ci, et les résultats obtenus mènent à leur rejet, à leur modification ou à une corroboration qui devra être confirmée par la communauté scientifique.

## **2.4. Hypothèse sur un outil : “DiPHTeRIC”**

Il paraît alors possible de proposer un outil pour l'initiation à la démarche scientifique et de mettre à l'épreuve l'hypothèse de son efficacité opératoire. Cet outil a été élaboré en s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences pour d'une part compléter l'analyse des défauts du schéma OHERIC et d'autre part considérer les modèles plus authentiques présentés par différents auteurs en didactique des sciences. Sans aller jusqu'à prétendre, avec Bobby Fisher, l'ancien champion du monde d'Échecs, que « mieux vaut un mauvais plan que pas de plan du tout », l'état des lieux de l'enseignement des sciences ainsi que les analyses épistémologiques du chapitre 1 nous orientent vers un compromis dans lequel un modèle relativement simple, reprenant ces grandes étapes sans en négliger l'aspect buissonnant, puisse mettre particulièrement en relief des moments estimés cruciaux : l'émission d'hypothèses et la conception de tests par les élèves, correspondant à l'esprit créatif et à l'esprit de contrôle.

Là où les pratiques de type OHERIC ou OPAC négligent ou ignorent le rôle des hypothèses, nous souhaitons au contraire leur restituer leur place centrale. Sans elles, non seulement l'enseignant ne permet guère à la créativité des élèves de s'exprimer, mais l'esprit de contrôle ne peut non plus s'exercer s'il n'y a rien à contrôler, sans émission d'idées préalables, même fausses. Nous souhaitons ainsi, en favorisant l'expression des conceptions des élèves, les habituer à les discuter et à les mettre à l'épreuve, leur permettant ainsi de vivre, lorsque cet axe est emprunté, une progression par rectification des leurs erreurs premières.

C'est dans cette optique qu'à un tel modèle nous associons un mode d'emploi qui vise l'exercice de ces aspects de l'esprit scientifique, et qui revêt une importance plus grande encore que le modèle lui-même. Ce dernier sert alors de repère pour son mode d'emploi, et non de modèle canonique de démarche auquel tout se réduirait, une vision plus authentique de ce qu'est la recherche scientifique pouvant être acquise en classe à d'autres moments et par d'autres voies, complémentaires. Au-delà de la modélisation des cheminements scientifiques, notre objectif est en effet didactique : proposer un outil pour la classe visant à favoriser la prise d'initiatives par les élèves, outil composé d'un modèle et de son mode d'emploi.

**L'outil pédagogique DiPHTeRIC = le modèle DiPHTeRIC + son mode d'emploi**

### **2.4.1. Composantes du modèle DiPHTeRIC**

En tenant compte des critiques formulées et des données de l'épistémologie et de l'histoire des sciences, nous proposons un modèle de démarche scientifique hypothético-déductive, sans prétention canonique et en assumant le fait qu'il ne saurait parvenir à décrire toute la réalité complexe des cheminements des chercheurs.

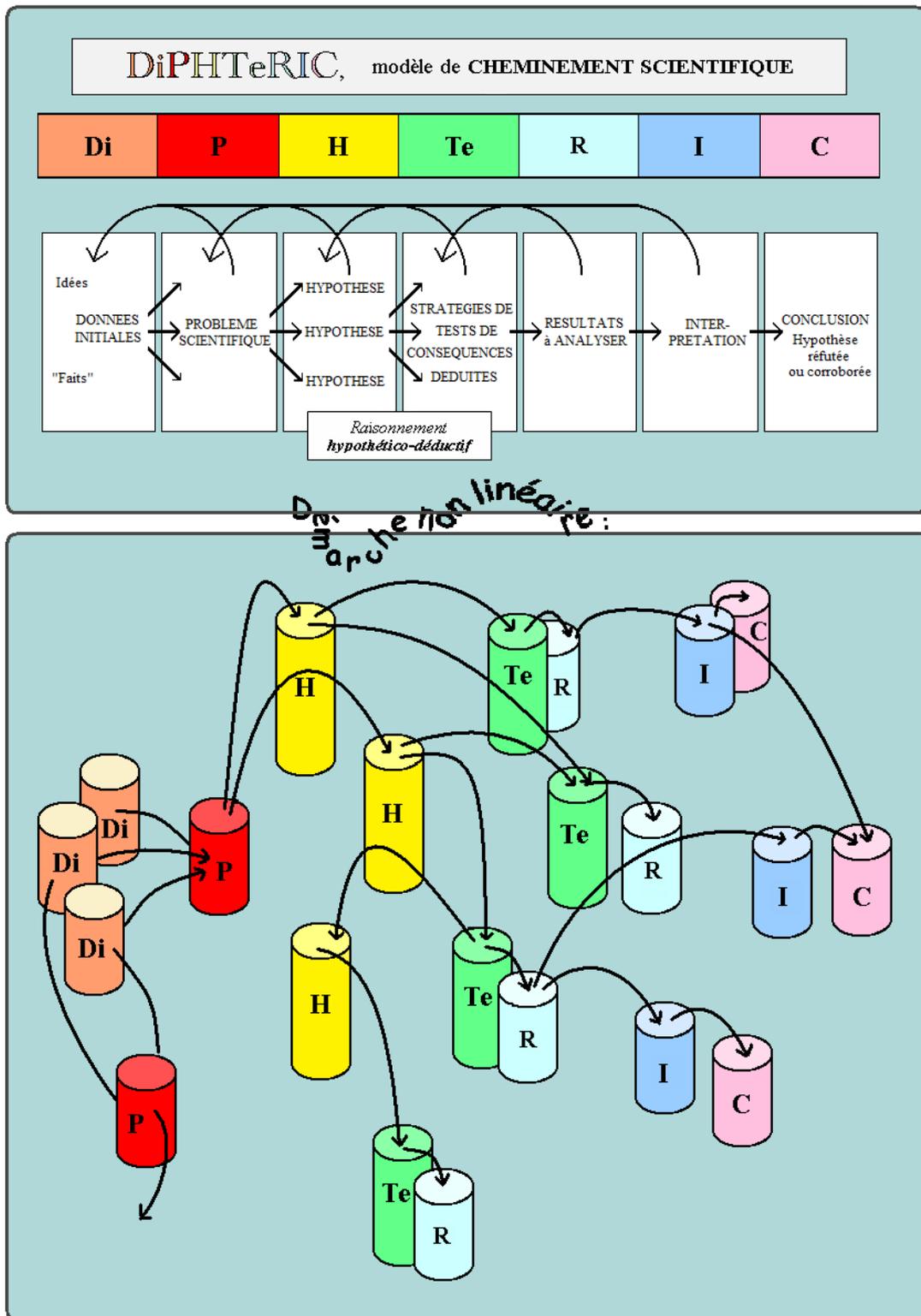


Figure 9. Le modèle DiPHTeRIC

La représentation faite à l'aide de cylindres montre le relief et le caractère non linéaire du modèle DiPHTeRIC. Les "cylindres" plus élevés (H et Te) symbolisent les sauts créatifs nécessaires en cours de cheminement.

Il est difficile, en conservant la facilité d'un sigle, de faire apparaître le côté non linéaire de la démarche. L'insistance sur la diversité des hypothèses aurait pu être figuré par DiPHHHTeRIC, ou encore par le recours au mot en anglais qui, s'orthographiant *diphtheric*, nous introduit une nouvelle hypothèse en plein milieu d'un test...

Ce modèle de démarche scientifique hypothético-déductive, avec l'importance conférée à l'invention des hypothèses, correspond globalement aux vues communes de Popper, Medawar, Jacob et Monod, même si, en tenant compte des facteurs sociaux, la vision poppérienne a été affinée par ses successeurs –ainsi, une théorie n'est-elle pas historiquement rejetée dès qu'elle est réfutée. Notre modèle n'est cependant pas affecté, pour son usage en classe, par l'introduction des idées de Kuhn (1962), Lakatos (1978) ou Feyerabend (1975), qu'il serait d'ailleurs intéressant, et complémentaire, que les élèves étudient en Philosophie.

Schéma imparfait de la démarche chaloupée du chercheur, il représente tout de même la voie qu'en général il aimerait suivre, et n'est ici qu'un modèle utile en didactique pour un entraînement à la démarche scientifique.

Les “données initiales” qui forment le point de départ regroupent idées et faits, dans une conception de la démarche scientifique qui n'exclut ni les unes, ni les autres et la fait partir toujours d'idées antérieures (acquis, représentations) et, le plus souvent, de données nouvelles, en opposition avec l'une et l'autre des formules antithétiques suivantes :

« Il est indispensable d'acquérir une **démarche scientifique** ; de ne jamais oublier que les théories et les modèles ne peuvent venir **qu'après** l'étude des faits. »<sup>359</sup>

« Les théories ne procèdent jamais des faits. Les théories ne procèdent **que des théories antérieures** souvent très anciennes. »<sup>360</sup>

On peut supposer que, dans les deux cas, la barre a été excessivement tordue pour la redresser dans un sens ou dans l'autre. L'hypothèse constitue la clef de voûte de ce modèle, et l'on peut faire apparaître, de part et d'autre de celle-ci les deux montants de l'Arche de la connaissance, correspondant aux “deux esprits scientifiques”, l'esprit créatif et l'esprit de contrôle :

---

<sup>359</sup> Rapports du jury du CAPES 1995 et 1996. Il s'agit de contraindre les étudiants à s'appuyer d'emblée sur des données plutôt que sur des considérations théoriques.

<sup>360</sup> Canguilhem G. *Connaissance de la vie*, Vrin 1965.

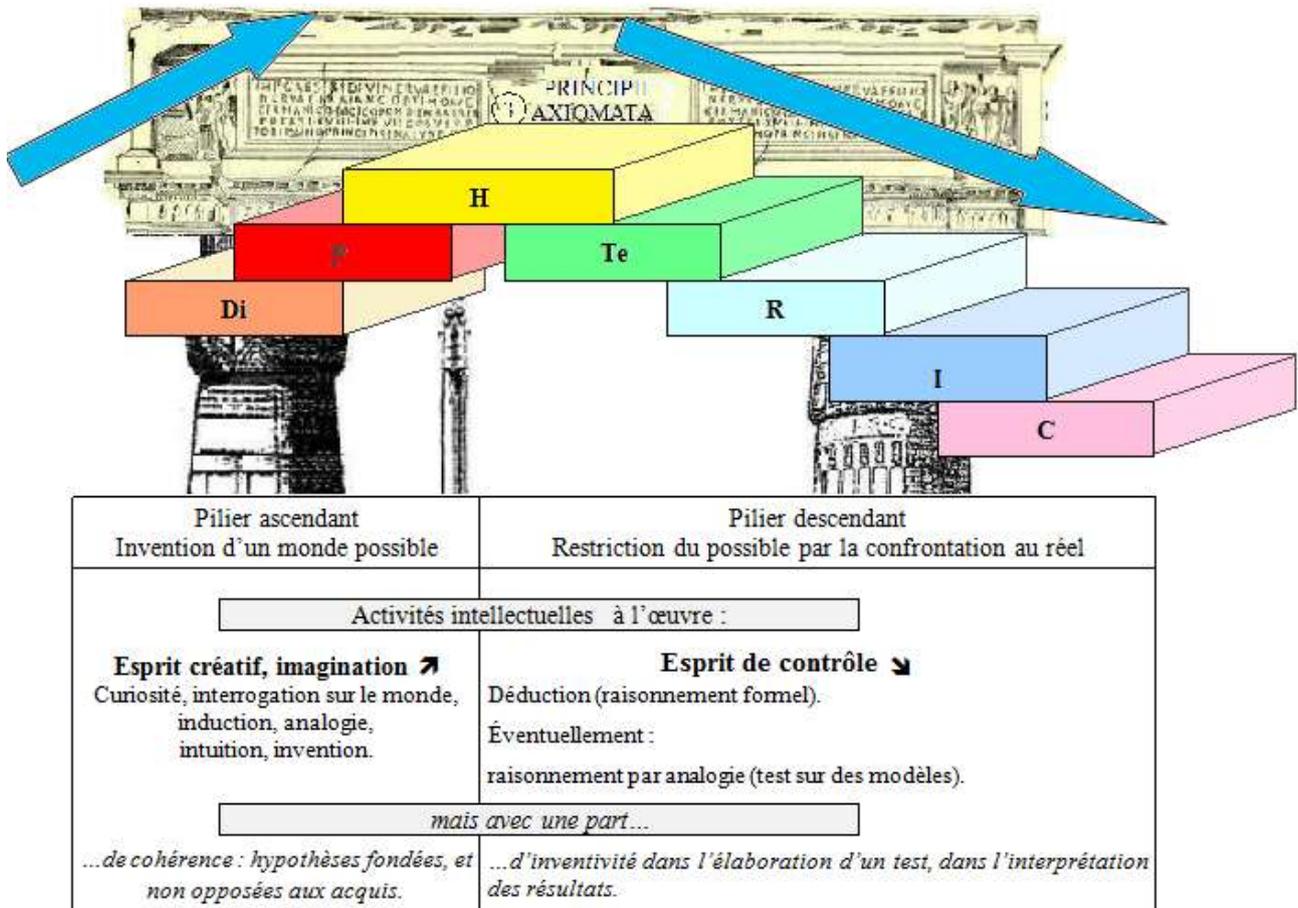


Figure 10. Arche de la connaissance et arche pédagogique

Présenter le cheminement sous cette forme permet de montrer qu'il met en jeu des formes différentes de l'esprit scientifique :

- **imagination, créativité et invention** dans la phase ascendante de problématisation puis d'élaboration d'hypothèses : **premier esprit scientifique**,
- **raisonnement hypothético-déductif et rigueur** de la confrontation au réel dans la phase descendante : **second esprit scientifique**.

## 2.4.2. Mode d'emploi de l'outil proposé : une “didactique de l'initiative”

L'objectif de l'outil DiPHTeRIC est d'inciter les enseignants à mettre en œuvre, *moins souvent* que le demandent les instructions (jusqu'à récemment encore : “pour chaque sujet d'étude” !), mais “*mieux*”, des démarches scientifiques laissant aux élèves une part d'initiative telle qu'ils puissent s'exercer à la formulation d'hypothèses, à leur discussion critique et à la conception de moyens de contrôle.

Cet outil est clairement destiné à servir de levier pour cheminer à partir de propositions exploratoires venant des élèves eux-mêmes, en gardant en mémoire à quel point la démarche du scientifique au laboratoire peut s'éloigner d'une succession d'étapes logiques et rigoureuses, et tout en laissant le champ ouvert aux voies de traverse et aux tentatives infructueuses.

Le **principe général** est de laisser les élèves résoudre les problèmes par **leurs propres forces intellectuelles**, l'enseignant les assistant, indiquant des moyens, des limites, fournissant si nécessaire une précision, mais ne les entraînant pas à sa suite.

### PRINCIPE 1.

#### Privilégier l'initiative des élèves.

Le professeur cherche à réunir des conditions telles que les élèves identifient un problème à résoudre (ou, à défaut, une question à laquelle chercher une réponse), par exemple une situation dans laquelle un fait nouveau paraît surprenant, irrésolu. Néanmoins, pour certains sujets d'étude, le professeur peut lui-même poser un problème plutôt que de tenter de le faire énoncer d'une manière trop artificielle.

L'initiative des élèves sera primordiale lors de deux phases essentielles :

**H** - l'élaboration d'hypothèses (mise en jeu du premier esprit scientifique) ;

**Te** - la conception de tests de contrôle (mise en jeu essentiellement du second esprit scientifique).

En parcourant DiPHTeRIC, quelles qu'en soient les bifurcations possibles, il y a toujours un saut créatif important au moment de la construction des hypothèses, puis, à partir des hypothèses, des tests possibles. Ces sauts, très formateurs pour l'esprit scientifique, personne ne peut les faire à la place des élèves, d'où l'impérieuse nécessité, dans une approche didactique privilégiant l'initiative des élèves, de leur laisser la possibilité de les effectuer.

### PRINCIPE 2. Favoriser le débat, la discussion critique.

Les phases H et Te, qui sont du ressort de l'élève, sont cadrées par la nécessité, rappelée si besoin est par l'enseignant, du respect de certains *principes*.

- discuter la recevabilité de toute hypothèse proposée :

Répond-elle bien au problème ?

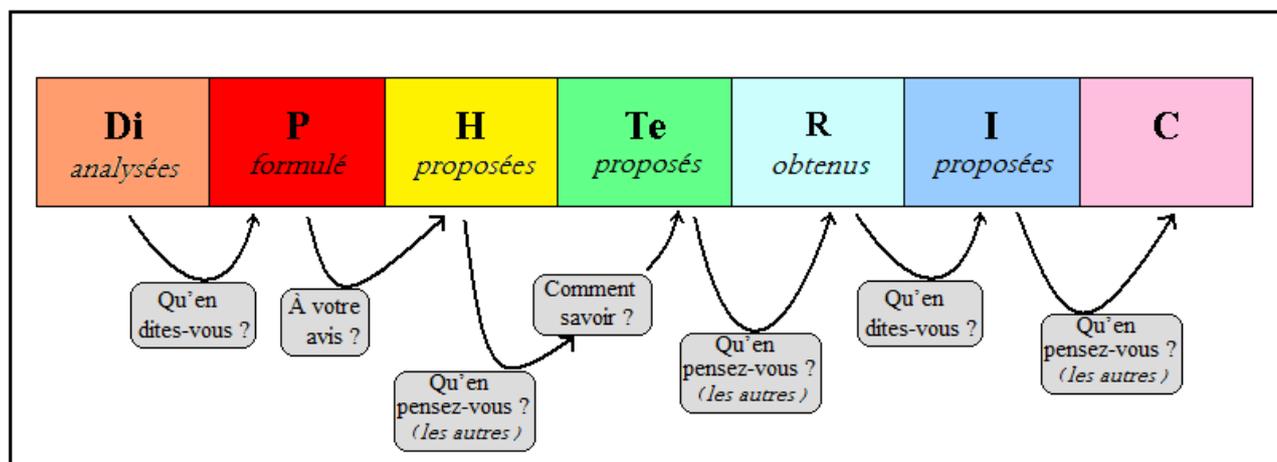
N'est-elle pas en contradiction avec des acquis (et si elle l'est, a-t-on des raisons de les mettre en doute ou peut-on les considérer comme fiables) ?

- discuter la pertinence des tests conçus :

Sont-ils logiques par rapport aux idées avancées ?

Fourniront-ils des éléments de résolution ?

**PRINCIPE 3. Relancer le cheminement, si nécessaire, par des questions de stimulation :**



“DiPHTeRIC” s’utilise en étant lu “en creux”, et rappelle ainsi à l’enseignant quel type de question poser éventuellement aux élèves pour les relancer dans leurs investigations, pour *stimuler* leur progression, si nécessaire, mais non pour *leur dire quoi faire*.

Si le professeur intervient, c’est qu’il juge utile non d’orienter les élèves à l’aide de solutions, mais d’inciter à poursuivre l’enquête, comme un témoin désireux d’avoir la suite.

Pour la formation de l’esprit scientifique, ce ne sont en effet pas tant les étapes qui importent, les stations, que les *parcours* d’une étape à l’autre. Si l’enseignant a en tête la suite logique de l’itinéraire, c’est pour mieux veiller aux points suivants :

- ne pas court-circuiter d’étape par inadvertance, mais seulement par décision et avec un objectif précis ;
- ayant en vue l’étape suivante, l’obstacle à franchir, s’abstenir autant que possible d’y orienter directement la classe ;
- savoir ce qu’on peut leur dire qui, les poussant à avancer, leur laisse cependant le champ le plus large possible.

L’essentiel du mode d’emploi pourrait donc se résumer à une série de *Quo vadis ?* (Où vas-tu ?), qui incitent les élèves à préciser où ils veulent aller et pourquoi -ce qui ne signifie pas qu’on s’y engage sans examen. Il s’agit, à l’aide de cet outil, de penser à la suite du cheminement pour mieux éviter de la leur dire, de s’habituer à ne pas se laisser emporter par la tendance spontanée à fournir des solutions, directes ou à peine masquées.

Dès lors qu’il a choisi d’engager ses élèves dans une investigation, l’enseignant doit savoir faire preuve de la retenue nécessaire. Aucun document n’a alors besoin d’être “parachuté”, ni aucune activité : s’il est intéressant et logique, pour les élèves, de disposer de tel document ou de faire telle expérience au point où ils en sont arrivés dans leur réflexion, alors ils le ou la demanderont à l’enseignant.

Autrement dit, il ne faut pas habituer les élèves à se laisser remorquer, ce à quoi ils consentent avec une grâce déconcertante, vers l’expérience qu’ils n’ont pas imaginée ou vers le document qu’ils n’ont pas réclamé, mais qui contient la solution. Mieux vaut une impulsion qui ne leur donne pas d’indices : à eux de dire quelles avancées seraient pertinentes.

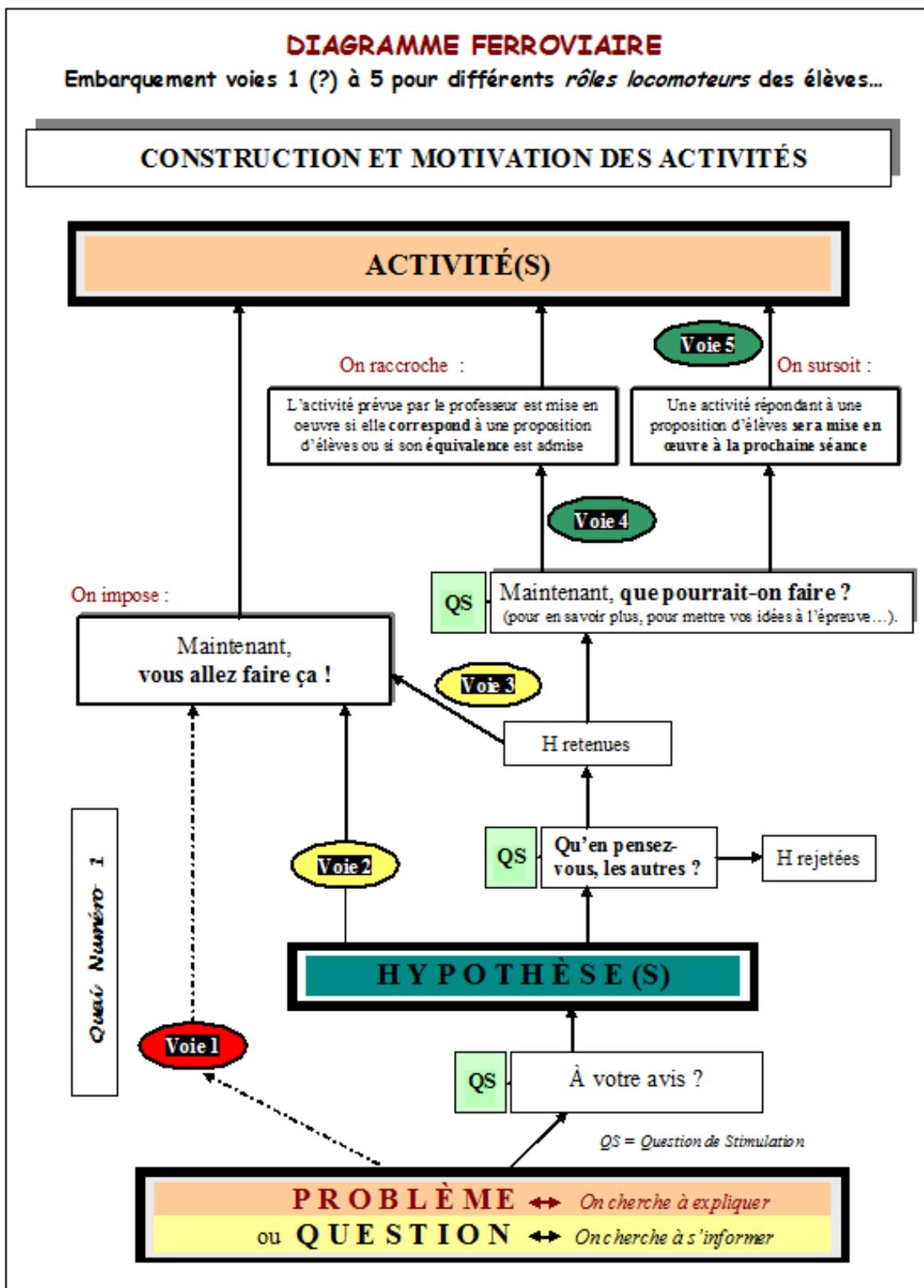
La part du professeur et celle qu’il laisse aux élèves sont plus détaillées dans la figure suivante.

| PART DU PROFESSEUR ET PART DES ÉLÈVES<br>DANS UN CHEMINEMENT DiPHTeRIC                  |   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
|---|---|--------------------------------|---------------|---|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|---|---|--|--|---|--|---|----------|--|---|----------|--|--|----------|
| <b>Di</b>   | Situation faisant apparaître un déficit d'explication<br>( <i>Contradiction entre idées anciennes et faits apparents nouveaux...</i> )  |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
| <b>P</b>  | Professeur ou élèves : Comment se fait-il que... ? Comment expliquer... ?<br>→ Problème posé comme une <b>demande d'explications</b>  |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
|   | <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">INTERVENTIONS<br/>DU PROFESSEUR</th> <th style="width: 50%;">LES ÉLÈVES...</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>À votre avis ?<br/>(<i>Problème effectivement soumis<br/>à la sagacité des élèves</i>)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Imaginent et proposent des explications possibles</td> </tr> <tr> <td>Qu'en pensez-vous ?<br/>(<i>Des explications proposées par les autres</i>)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Discutent de la recevabilité des propositions<br/>→ Explications provisoires retenues</td> </tr> <tr> <td>Comment savoir ?<br/>(<i>Si c'est bien ça, qui a raison...</i>)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Déduisent des conséquences testables<br/>Proposent des tests</td> </tr> <tr> <td>Qu'en pensez-vous ?<br/>(<i>Des tests proposés par les autres</i>)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Discutent de l'adéquation des propositions<br/>→ Tests appropriés retenues</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Fourniture de matériel pour la mise en œuvre du<br/>ou des test(s) retenu(s), ou d'autres <i>équivalents</i>,<br/>ou de documents s'y rapportant</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="background-color: #99ccff;"><b>R</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Qu'en dites-vous ?<br/>(<i>De ces résultats</i>)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="background-color: #99ccff;"><b>I</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Qu'en pensez-vous ?<br/>(<i>Des interprétations proposées par les autres</i>)</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cc99ff;"><b>C</b></td> <td>Statuent sur l'hypothèse testée :<br/>réfutée ou corroborée</td> </tr> </tbody> </table> | INTERVENTIONS<br>DU PROFESSEUR | LES ÉLÈVES... | À votre avis ?<br>( <i>Problème effectivement soumis<br/>à la sagacité des élèves</i> ) |  |  | Imaginent et proposent des explications possibles | Qu'en pensez-vous ?<br>( <i>Des explications proposées par les autres</i> ) |  |  | Discutent de la recevabilité des propositions<br>→ Explications provisoires retenues | Comment savoir ?<br>( <i>Si c'est bien ça, qui a raison...</i> ) |  |  | Déduisent des conséquences testables<br>Proposent des tests | Qu'en pensez-vous ?<br>( <i>Des tests proposés par les autres</i> ) |  |  | Discutent de l'adéquation des propositions<br>→ Tests appropriés retenues |  | Fourniture de matériel pour la mise en œuvre du<br>ou des test(s) retenu(s), ou d'autres <i>équivalents</i> ,<br>ou de documents s'y rapportant | <b>R</b> |  | Qu'en dites-vous ?<br>( <i>De ces résultats</i> ) | <b>I</b> |  | Qu'en pensez-vous ?<br>( <i>Des interprétations proposées par les autres</i> ) | <b>C</b> |
| INTERVENTIONS<br>DU PROFESSEUR  | LES ÉLÈVES...   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
| À votre avis ?<br>( <i>Problème effectivement soumis<br/>à la sagacité des élèves</i> ) |   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
|   | Imaginent et proposent des explications possibles   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
| Qu'en pensez-vous ?<br>( <i>Des explications proposées par les autres</i> )             |   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
|   | Discutent de la recevabilité des propositions<br>→ Explications provisoires retenues  |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
| Comment savoir ?<br>( <i>Si c'est bien ça, qui a raison...</i> )                        |   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
|   | Déduisent des conséquences testables<br>Proposent des tests   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
| Qu'en pensez-vous ?<br>( <i>Des tests proposés par les autres</i> )                     |   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
|   | Discutent de l'adéquation des propositions<br>→ Tests appropriés retenues   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
|   | Fourniture de matériel pour la mise en œuvre du<br>ou des test(s) retenu(s), ou d'autres <i>équivalents</i> ,<br>ou de documents s'y rapportant   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
| <b>R</b>  |   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
|   | Qu'en dites-vous ?<br>( <i>De ces résultats</i> )   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
| <b>I</b>  |   |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
|   | Qu'en pensez-vous ?<br>( <i>Des interprétations proposées par les autres</i> )  |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |
| <b>C</b>  | Statuent sur l'hypothèse testée :<br>réfutée ou corroborée  |                                |               |   |  |  |   |   |  |  |  |  |  |  |   |   |  |  |   |  |   |          |  |   |          |  |  |          |

Figure 11. Parts du professeur et des élèves dans un cheminement DiPHTeRIC

### Maintenir le cap sur les voies 4 ou 5.

Le diagramme suivant indique cinq voies possibles reliant un problème (ou, le cas échéant, une question) à la mise en œuvre d'activités :



[Observation →] **Problème** → **Activité** → [Conclusion]

Une démarche DiPHTeRIC correspond aux **voies 4 et 5** :

**Voie 4** : l'activité prévue par le professeur est mise en œuvre si elle correspond à une proposition d'élèves ou s'ils en reconnaissent l'équivalence.

**Voie 5** : une activité suggérée (ou, à défaut, équivalente) par les élèves ne sera mise en place qu'à la prochaine séance.

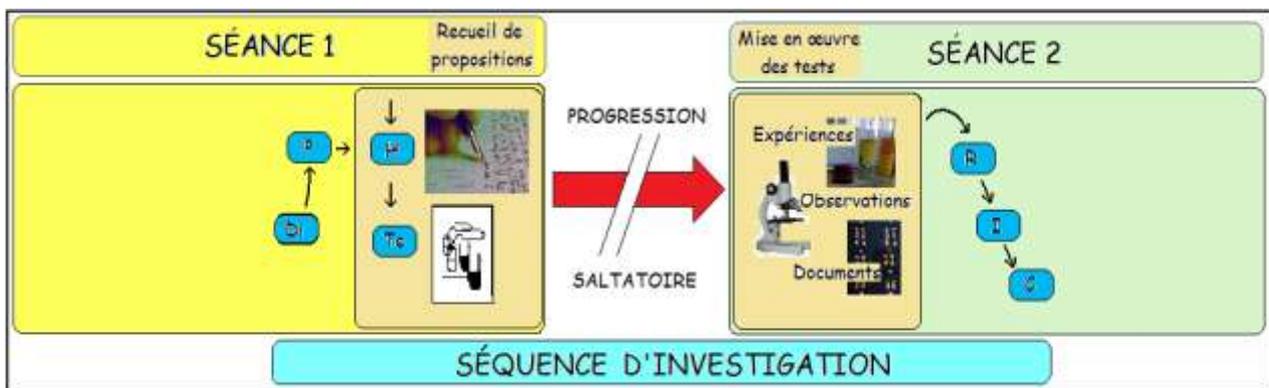
Les **voies 2 et 3** sont des voies "de secours" éventuelles, dans les cas où l'on ne saurait que faire des hypothèses proposées ou retenues. Ces "aiguillages" sont présentés à l'enseignant parce qu'ils lui indiquent la possibilité d'abandonner le cheminement des élèves, échappatoires non souhaitables mais dont l'existence ainsi rappelée peut l'inciter à s'engager, au départ, dans la voie commune passant par les hypothèses.

La **voie 5**, cependant, permet d'éviter ces échappatoires.

**Une stratégie pour ne pas se retrouver démuni : la voie 5, "progression saltatoire".**

D'un point de vue pratique, et contrairement à un dogme répandu qui fait passer la forme avant le fond en voulant que tout soit fait de A à Z dans la même séance de T.P., au détriment de l'investigation, l'enseignant pourra prévoir, pour se donner plus d'aisance, une séquence DiPHTeRIC étalée sur deux séances, la première s'achevant sur des propositions de tests (en classe entière par exemple), afin de pouvoir réunir les documents et/ou le matériel demandés pour la fois suivante. Cette suspension, ce "temps mort" constitue aussi un moment utile pour chercher les données relatives à une hypothèse imprévue, mais logique, et, si l'on ne trouve rien, pour réfléchir à la manière d'y revenir avec les élèves : si la tester n'apparaît pas possible (manque de données) ou pas souhaitable, il faut, tout en en reconnaissant la logique, expliquer ce choix aux élèves.

Une "**progression saltatoire**" est alors suivie (saut temporel entre deux séances) :



**En résumé, dans une séquence DiPHTeRIC, l'enseignant doit...**

- Il doit "relancer" le cheminement des élèves, si nécessaire seulement, par des questions de stimulation ;
- Il doit veiller à la **qualité** du problème (ou de la question) : son **envergure** doit être suffisante, avec un caractère énigmatique réel, et il ne doit pas faire **sens** que pour le professeur, comme de nombreux problèmes ouvrant les chapitres de manuels scolaires qui correspondent à des paragraphes des programmes mais non à des interrogations que des élèves sont susceptibles de se poser.

Il est évident que demander à des élèves ce que peut bien manger un lapin, les laisser émettre des hypothèses (factuelles) : des carottes, de la laitue, du chocolat..., puis les laisser se demander

comment ils pourraient faire (!) pour mettre à l'épreuve ces propositions, ne constitue pas une démarche scientifique d'envergure, même si elle comporte des hypothèses, la conception d'une stratégie d'élucidation (lui mettre tout ça sous le nez), des précautions méthodologiques (pas quand notre Pinpin est repus ou dort)...

Certains "problèmes" des manuels scolaires n'ont de sens que pour qui connaît déjà la solution, par exemple : « quelle est l'origine de l'eau modifiant le solidus de la péridotite en zone de subduction ? » Les élèves se posent d'autant moins cette question que l'origine de l'eau au fond des océans n'est pas pour eux énigmatique.

D'autres questions demandent "y a-t-il un lien entre... ?", et ce n'est jamais "non"...

Il faut aussi qu'un problème "vaille le coup", qu'il fasse vraiment se gratter la tête aux élèves.

Exemple de problème sans *envergure notionnelle* : comment expliquer la constance de la quantité de Calcium dans l'eau de mer malgré l'apport permanent des fleuves ?

Exemple de problème sans *envergure pédagogique* (car peu mystérieux), très fréquents : comment expliquer que les séismes modifient le paysage ?

- Il doit veiller à la **qualité** du dialogue entre élèves sur la **recevabilité** des hypothèses et la **pertinence** des tests.

- Il doit, **à la demande des élèves**, organiser une observation ou une expérience, **requis** après discussion, ou fournir un document présentant celle-ci – l'enseignant **pourvoyeur** ayant la latitude de substituer, à ce que les élèves ont demandé avec pertinence, un équivalent justifié.

### **Dans une séquence DiPHTeRIC, l'enseignant ne doit pas...**

- Il ne doit pas accueillir une hypothèse d'élève en trahissant par son attitude son scepticisme ou son ravissement relativement à son exactitude : les élèves doivent ressentir que seule la **logique** et la **cohérence** de ce qui est proposé à ce stade importe.

L'attitude du professeur lors de cette phase est déterminante. Un de ses rôles primordiaux est celui de *récepteur des hypothèses* : il est de première importance, si l'on ne veut pas biaiser l'investigation, que l'enseignant accueille de la même manière les hypothèses *vraies ou fausses, mais logiques*. Sans quoi les élèves ont très vite fait de confronter une hypothèse, non à l'expérience, mais à l'attitude du professeur ! Nous utilisons en formation un enregistrement où l'on voit un enseignant, pourtant plein de bonne volonté, accueillir ainsi une hypothèse le surprenant :

« Aaaaaah ouiiii, ça *pourrait* être une hypothèse... une autre hypothèse ?... [allant un peu plus loin dans la classe] Ah ! Vous avez entendu votre camarade ? C'est intéressant ce qu'il a dit là, écoutez-le !... Tu peux répéter pour tout le monde ? »

**C'est fait : l'hypothèse est testée.** Sans expérience, ou plutôt, avec une autre expérience que celle qu'on prévoyait peut-être : la confrontation entre l'idée émise et la réalité du faciès du professeur suffit souvent.

Pour l'éviter, mieux vaut avoir anticipé les propositions des élèves, avoir fait l'effort de se **mettre à leur place** : si je n'avais pas toutes mes connaissances, et que je n'étais doté que de ma solide logique, que dirais-je ? Mais il n'est pas facile de mettre entre parenthèses ses connaissances, c'est même une difficulté majeure et l'une des plus hautes tâches du métier d'enseignant que d'essayer de se mettre à la place des élèves. Heureusement, l'habitude et les ouvrages présentant les conceptions classiquement recueillies y aident. Face à des élèves à la recherche de l'approbation professorale, un excellent moyen est de se montrer systématiquement sceptique (ou approbateur, ou impassible) : "Ah, tu crois que c'est possible ? Vous aussi ? Ma foi, admettons..." Les élèves seront rétrospectivement surpris que la bonne idée ait été retenue, parmi d'autre, avec si peu d'enthousiasme, mais sauront que seule la cohérence, et non la vérité, est attendue. Et que ceux qui

auront émis des hypothèses fausses, mais logiques, sont valorisés par le professeur autant que s'ils avaient pensé à la bonne !

Évidemment, en recueillant les hypothèses par écrit et en ne les traitant que lors de la prochaine séance, comme dans la "progression saltatoire", cette difficulté tombe.

- Il ne doit pas non plus **limiter**, dans un premier temps, les propositions de tests par leur caractère réalisable ou non, en classe ou ailleurs. Il précisera ces données dans un second temps, proposera le cas échéant des équivalents. Suivre le trajet d'une molécule, faire fondre un métal ou une roche... Qui sait si le professeur ne dispose pas de moyens insoupçonnés répondant à ces attentes ? Évidemment, dans un tel cas l'interrogation "comment faire ?" sera remplacée par l'information "pour réaliser cette idée, il existe tel moyen...".

- Il ne doit pas **parachuter** des activités : observations, expériences ou analyse de documents, sous prétexte qu'elles sont en rapport avec le problème ou la question posé(e). Ce qui n'empêche cependant pas la fourniture de précisions utiles (sur une technique par exemple).

- Il ne doit surtout pas **faire passer la forme avant le fond**, et stéréotyper la démarche par dogmatisation, ossification (comme disait Paul Langevin des théories). Passer par une succession d'étapes comme celle présentée par l'outil DiPHTeRIC **ne suffit pas** : l'important n'est pas de les étiqueter, selon un type d'échange qui n'est pas rare en classe :

« Maintenant qu'on a notre hypothèse on fait une... ? Une... ? Je vous l'ai déjà dit la dernière fois ! »  
[Élèves :] « Une expérience ?... Une interprétation ?... »

### **Dans une séquence DiPHTeRIC, l'enseignant peut...**

- Il peut **accroître l'éventail** des propositions d'élèves.

Il est toujours bienvenu d'*introduire des hypothèses supplémentaires* à celles qu'ils ont imaginées, même si on les sait fausses ou aussi bien si elles sont vraies, soit parce qu'on les connaît de l'histoire des sciences, soit qu'il s'agisse de celles émises dans un autre groupe ou une autre classe...

« Vous n'avez pas d'hypothèses, ou vous n'en avez qu'une sur... la ventilation pulmonaire ? Voyons ce que j'ai en stock dans mes notes de l'année dernière, ou ce qui se disait au siècle dernier... Ah ! Que dites-vous de l'automatisme pulmonaire (comme il y a un automatisme cardiaque) ? J'ai les mouvements cardiaques qui font pression sur les poumons ; il y en a même un pour qui un nerf fait descendre le fond de la cage thoracique, et ça aspire l'air par le nez !... »

Dans le monde de la recherche, les bonnes idées sont à tester quelle que soit leur provenance, et il faut cultiver chez les élèves le doute sur ce qu'ils reçoivent et l'habitude de la mise à l'épreuve.

L'outil s'accompagne d'exemples concrets et détaillés de progressions, fournis non à titre de modèles, mais bien d'**exemples**, à utiliser ou dont s'inspirer, à moins qu'une comparaison ne persuade le professeur que sa propre progression respecte tout autant (ou, peut-être, mieux) les principes constituant le mode d'emploi de l'outil.

Les progressions proposées aux enseignants au cours de notre recherche sont présentées en annexe III, le tableau ci-dessous donnant une vision rapide et synthétique de l'une d'entre elles (progression **P2**) :

| EX. EN 3 <sup>e</sup> : L'ORIGINE DES DIFFÉRENCES HÉRÉDITAIRES ENTRE INDIVIDUS   |
|--|
| → <b>Di</b> : Les enfants issus du même couple parental sont différents.   |
| → <b>Problème n°1</b> : Comment l'expliquer ?  |
| → <b>H</b> : hypothèses classiquement obtenues :<br>H1 : d'un enfant à l'autre, la mère ne fabrique pas les mêmes ovules.<br>H2 : le père ne fabrique pas les mêmes spermatozoïdes.<br>H3 : les deux ! |
| → <b>Te</b> : Observer les gamètes (pour H1-H2-H3).  |
| → <b>R</b> : Pas de différences significatives visibles.<br>Apport complémentaire du professeur : une différence détectée dans le contenu des noyaux.  |
|    |
| → <b>I</b> : <b>H2</b> modifiée en <b>H2'</b> , qui gagne en précision mais perd en extension (elle ne concerne qu'un caractère), comme souvent en sciences.   |
| → <b>C</b> : Pour le déterminisme du sexe, <b>H2</b> validée (sous la forme <b>H2'</b> ), H1 et H3 <i>a priori</i> réfutées.   |
| → <b>Di</b> : nouvel acquis : même nombre et même type de chromosomes pour un même sexe.   |
| → <b>Problème n°2</b> : comment un couple parental peut-il avoir des enfants <i>de même sexe</i> différents ?  |
| → <b>Etc.</b>  |

La fourniture de progressions détaillées, l'indication d'une "progression saltatoire" possible sont des éléments "pratiques" et même pragmatiques destinés à inciter les enseignants à demander aux élèves leurs propositions, puis à suivre les cheminements ainsi désignés.

D'autres indications incitatrices sont fournies aux enseignants, pour tenter de vaincre les obstacles habituels qui leur font craindre cette pratique : comment résoudre le problème du temps, celui des hypothèses imprévues, du grand nombre d'hypothèses qu'il faudrait tester, des redoublants qui connaissent les solutions...

Ces indications sont portées sur la fiche "mode d'emploi" fournie aux enseignants, et le détail en est donné dans la partie 3.2.1.

### 2.4.3. Exemple d'utilisation

Faisons fonctionner notre outil dans le cas d'une démarche d'investigation autour du déterminisme des battements cardiaques (classe de Seconde).

Les manuels scolaires utilisables par les enseignants et les élèves commencent dans cette optique par une ou plusieurs interrogations en début de chapitre. En voici des exemples :

Quelle est l'origine des battements cardiaques ?

Qu'est-ce que l'automatisme cardiaque ?

Le rythme automatique du cœur peut-il être modifié par le système nerveux ? (Sous le titre : Le fonctionnement cardiaque et son contrôle nerveux).

Seule l'interrogation 1 correspond à un problème scientifique : on cherche une explication, tandis que la question 2 la fournit. L'interrogation n'est pas longtemps énigmatique puisqu'il leur suffit de savoir lire le titre sur la même page.

Mieux vaut intituler le sujet, de manière neutre : “Le rythme cardiaque et ses variations”.

**Di :** Les **Données initiales** sont les acquis et les connaissances communes des élèves : le cœur est un muscle, qui bat en permanence, s’accélère à l’effort ou lors d’émotions... Et est sans doute pour certains le siège des émotions (Aristote est toujours là) !

Le problème du déterminisme cardiaque, que l’on se propose d’étudier ici, ne se pose pas spontanément pour les élèves : ça bat depuis toujours sans qu’ils aient à s’en soucier !

Un “document d’appel” peut être apporté par l’enseignant pour susciter les interrogations des élèves : par exemple, le cœur bien visible sur un embryon humain qui bat dès la 3<sup>ème</sup> semaine de grossesse. Attirer l’attention sur ce moment où le cœur de l’enfant commence à battre, faisant palpiter du même coup celui des parents, permet d’obtenir facilement des interrogations sur le déclenchement et le maintien de ces battements chez l’embryon, et chez eux.

Autres voies d’entrée possibles :

- un document avec électrocardiogramme d’une personne normale (rythme 70 / min.) et d’un greffé cardiaque (rythme 100) ;

- une question : comment faites-vous pour ne pas oublier de “battre du cœur” ? (ce qui, en fait, donne le problème). On peut aussi poser directement le problème scientifique ci-dessous, mais dans la mesure où l’on dispose avec les documents d’appel de bonnes bases de problématisation, autant garder nos questions en réserve.

**P :** “Comment s’expliquent les battements cardiaques ?”

(Le problème est celui de leur *déterminisme*.)

**H :** Les élèves proposent assez spontanément que le muscle cardiaque est, comme les autres, sous commande nerveuse. Dans cette situation, des élèves disent même parfois : “pourquoi faire des hypothèses, on le sait que c’est par les nerfs !”... Ils procèdent là par induction, généralisant à partir de ce qu’ils savent du déterminisme du mouvement des autres muscles. Mais d’autres hypothèses sont bien sûr acceptables, et, s’appuyant sur leurs représentations, sur leur imagination, sur les analogies qu’ils peuvent faire..., les élèves vont proposer des mondes possibles : le cœur pourra y battre sous l’effet de la pression des poumons, ou de la pression artérielle, ou d’une substance dans le sang (comme l’adrénaline), ou, pourquoi pas, “tout seul”...

**Te :** Détaillons le traitement de l’hypothèse H1 d’une commande nerveuse. Les élèves peuvent en déduire, comme une conséquence nécessaire, qu’en coupant les nerfs parvenant au cœur, il cessera de battre. Ils peuvent aussi proposer de tester les autres hypothèses, suivant celles qu’ils auront formulées et retenues après débat : voir l’effet qu’auraient, sur les battements cardiaques, une ablation des poumons, une modification de la pression ou de la composition du sang.

H1 sera testée par exemple à l’aide d’une vidéo sur le fonctionnement du cœur isolé lors d’une transplantation cardiaque, ou d’un tableau de données expérimentales sur son rythme avant et après section des nerfs, document qui viendra ici à *la demande* des élèves ayant formulé l’hypothèse.

Le professeur fournit également, s’il en dispose, les indications demandées sur ce rythme pour les personnes n’ayant plus qu’un poumon, ou en hypotension : sans nécessairement fournir de documents, il peut en tout cas préciser que chez aucune l’activité cardiaque n’est suspendue.

**R :** Dans le cas où le test consiste à priver le cœur de ses nerfs, le résultat réel, à la surprise générale des élèves, apporte du nouveau : non seulement le cœur bat toujours, mais il bat *encore plus vite* que dans l’organisme... Ce nouveau problème ouvre une *voie de traverse* dans l’itinéraire, autre exemple de cheminement **non linéaire** (après le fait que plusieurs hypothèses sont prises en compte).

**I :** Mais restons pour l’instant sur la piste principale : le cœur bat toujours : l’hypothèse H1 est réfutée.

**C** : Le cœur ne bat pas du fait d'une commande nerveuse. Le document utilisé provient de la communauté scientifique et celle-ci a entériné ce résultat, on peut donc conclure. Cette conclusion rejoindra celles qui proviennent des tests des autres hypothèses.

On a obtenu, chemin faisant, de nouvelles données concernant le cœur isolé (**Di**) pour un nouveau problème (comment s'explique cette accélération ?) pour lequel les élèves disposent d'emblée de l'hypothèse d'un ralentissement par voie nerveuse... qu'ils peuvent proposer de tester en stimulant les nerfs impliqués.

L'essentiel, dans la démarche ainsi illustrée, est moins dans la succession des étapes -on aurait pu s'engager dans la bifurcation qui s'est ouverte – que dans la nature du dialogue instauré entre élèves et professeur.

Dès lors que l'on cherche à comprendre en passant par le biais de la conjecture, le cheminement de l'esprit peut se décrire en termes d'*interrogations successives* : Comment ça se passe ? Comment ça se fait ? Comment savoir ? Comment faire ?... Les poser aux élèves (celles-là ou d'autres équivalentes, et si nécessaire seulement) permet, sans donner de réponse, de les habituer à *se* les poser, et à chercher d'y répondre par leurs propres forces intellectuelles.

## 2.5. Le jeu des possibles

L'usage de cet outil devrait exercer les élèves à s'aventurer dans des anticipations sur les faits, à exposer leurs conceptions, à laisser jouer leur imaginaire au "jeu des possibles", tout en leur apprenant à douter de leurs vues ou de celles reçues d'autrui, et à soumettre les unes comme les autres au contrôle et à la mise à l'épreuve.

Notre question de recherche porte alors sur les effets attendus de cet usage :

### L'utilisation de cet outil améliore-t-il l'esprit scientifique des élèves ?

Nous postulons que tel est le cas, cet outil pouvant servir de levier pour cheminer à partir de propositions exploratoires venant des élèves eux-mêmes, en leur ménageant une importante part d'initiative et d'activité *intellectuelle*, formatrices de leur esprit scientifique. Nous pensons en effet que son emploi par les enseignants les incite à laisser les élèves échafauder puis éprouver *leurs* hypothèses, qu'il permet d'habituer ceux-ci à en discuter entre eux, puis à en tirer les conséquences, et leur fait progressivement ressentir comme une évidence l'idée de contrôler leurs conjectures par des moyens qu'ils imaginent et discutent.

Pensé pour rappeler aux enseignants la logique *a priori* du cheminement de l'esprit, nous voyons dans cet outil un moyen efficace pour accompagner sans les contraindre les constructions des élèves. Il peut suggérer aux enseignants de penser leurs interventions éventuelles dans la démarche sous forme de questions *incitatives*, mais non *révélatrices*, telles qu'en présentent les exemples concrets de progressions qui leur sont fournis dans le cadre de cette recherche.

Nous y voyons également un moyen de resituer le fait que si l'on place les élèves face à un problème, c'est pour qu'ils soient à une certaine distance intellectuelle de la solution, et que c'est à eux de tenter de s'en rapprocher, en disant comment. Sans la leur faire simplement constater, ni les tirer le long du chemin : la progression se ferait au prix d'un **effondrement de la tâche intellectuelle**, rendant inopérant l'appui sur un problème initial, tandis que notre outil lui redonne la valeur heuristique qui justifie son existence.

## Chapitre 3

# MÉTHODOLOGIE

Nous avons réuni une équipe de professeurs collaborateurs, exerçant certains en collège et d'autres en lycée, et acceptant de modifier leur pratique en mettant fréquemment en œuvre l'outil DiPHTeRIC. Un "cahier des charges" cadre cette mise en œuvre, et des exemples de progressions de type DiPHTeRIC leur sont fournis, qu'ils peuvent adopter ou adapter, ou encore utiliser comme référence à consulter dans le temps où ils élaborent leurs propres progressions, pour garantir la préservation de l'état d'esprit qui les anime. Ils font passer dans les classes concernées, en début d'année, six pré-tests et remplir un questionnaire, puis en fin d'année les six post-tests correspondant, tandis que le questionnaire final ainsi qu'un post-test supplémentaire doivent être passés hors du contexte de l'enseignement des sciences, en faisant appel à un collègue d'une autre matière (en général, d'Histoire-Géographie).

### 3.1. Stratégies de recueil et de traitement des informations

L'impact de l'enseignement préconisé sur l'esprit scientifique et critique des élèves est estimé à l'aide de deux outils d'évaluation permettant une analyse à la fois qualitative et quantitative : une batterie de six tests d'une part, des questionnaires d'autre part. Ces données sont complétées par les remarques formulées par les enseignants ayant mis en œuvre notre approche sur les attitudes de leurs élèves.

#### 3.1.1. Méthode de recueil : tests et questionnaires

Les six tests et les deux questionnaires eux-mêmes sont présentés en annexes (respectivement, annexes IV (T1 à T6) et annexes V (QE1 et QE2)).

Pré- et post-tests sont identiques, à l'exception du test n°4 pour lequel existent deux post-tests : n°4 (identique) et n°4bis (différent) : le choix s'étant porté sur l'identité des pré- et post-tests à l'issue de la phase préliminaire d'évaluation de leur pertinence (partie 3.3.1.), nous avons tout de même choisi de conserver un post-test différent (qui double, sans s'y substituer, le post-test identique), parce que, pouvant être soumis aux élèves hors du cadre de l'enseignement scientifique, il permet de voir si ce qu'on souhaite faire acquérir en sciences peut aussi jouer hors des sciences.

##### 3.1.1.1. Pré- et post-tests encadrant l'enseignement préconisé

Les six tests élaborés explorent des aspects différents de l'esprit scientifique, mais aussi, par endroits, des aspects identiques d'un test à l'autre, afin de pouvoir procéder à des recoupements.

*Pour faciliter la compréhension des désignations, un terme évocateur de son contenu est associé à chacun des tests (ex. test n°1 : Plantes ; test n°4bis : UV).*

## TEST N°1 [Plantes]

Il demande aux élèves de proposer des hypothèses et des tests possibles à propos d'un problème non étudié en classe (répartition des végétaux). Ce test leur indique qu'on ne trouve pas les mêmes espèces végétales en bord de mer que plus loin (en post-test : espèces différentes en montagne et plus bas), et pose les deux questions suivantes :

1. Propose une ou des cause(s) possible(s) à ce fait, en précisant comment cela pourrait expliquer une telle différence de répartition.  
Ne pas juste citer des causes, mais **expliquer** leur effet possible sur la répartition des plantes.
2. Quels moyens pourrait-on mettre en œuvre pour savoir si la cause proposée (ou l'une des causes proposées) est bien celle qui explique cette différence de répartition ?  
Ne pas juste donner des moyens mais dire **en quoi** ils permettraient de savoir qu'il s'agit de la bonne explication.

Ce test vise à estimer la plus ou moins grande spontanéité des élèves à proposer des hypothèses diverses, et leur aisance à suggérer des tests appropriés. Dans chaque question, une remarque particulière leur demande d'aller au-delà d'une simple mention et d'entrer dans une réflexion.

## TEST N° 2 [Lune]

Ce test propose une affirmation, et 5 réactions différentes (notées A à E) :

« On obtient une bien meilleure récolte de blé quand il est semé en période de pleine lune ».

- A. Oui, c'est vrai, la graine aura germé un mois après, ce sera de nouveau la pleine lune et sa lumière favorisera la croissance de la jeune plante.
- B. C'est sûrement faux, comme bon nombre de croyances sur la lune.
- C. C'est vrai, on sait que la lune agit aussi sur les marées.
- D. Il faudrait planter du blé avec et sans pleine lune pour comparer.
- E. La germination est une naissance, comme pour nous elle dépend de la lune et des autres astres.

Les élèves sont invités à indiquer la ou les réaction(s) qui leur convien(nen)t et celle(s) qu'ils rejettent, et à préciser dans quel ordre et pour quelles raisons.

Ce test est destiné à estimer la plus ou moins grande facilité des élèves à recourir à un contrôle pour une affirmation incertaine, et leur plus ou moins grande adhésion à des affirmations incontrôlées.

Il s'inspire du discours de Paul Bert en 1880 sur les mérites de l'enseignement scientifique, censé vaincre les superstitions (mais la formulation choisie dans le test ne préjuge pas de la réalité, ou non, de l'effet) :

« Nos paysans compromettent le succès de leurs semailles et de leurs récoltes sur telle apparence de la lune » (Kahn, 2002a, p. 202).

### TEST N°3 [Parking]

Portant sur le stationnement payant, il se situe en dehors de tout contexte scientifique, afin d'évaluer l'exercice de l'esprit scientifique hors des sciences. Une controverse oppose le maire d'une grande ville qui vient de rendre payant le stationnement jusqu'alors gratuit au président d'une association qui proteste, en ces termes :

**Mr Charcot** – Vous rendez le stationnement payant alors qu'il ne l'était pas ! Ce n'est qu'un moyen abusif de remplir les caisses de la mairie sur notre dos !

**Le maire** – Monsieur, la loi me permet de faire payer pour stationner.

**Mr Charcot** – La loi, je vous la rappelle Monsieur le Maire : rendre le stationnement payant sur une voie publique (donc appartenant à tous) n'est légal que si cela permet une amélioration des conditions de circulation (circulaire du 15.07.1982).

**Le maire** – Voilà, c'est bien pour ça que je le fais. Les gens resteront moins longtemps, libéreront des places pour les autres et cela circulera mieux !

**Mr Charcot** – Je conteste que cela ait cet effet sur la circulation : ce n'est qu'un prétexte !

**Le maire** – Nous ne sommes pas du même avis.

La question suivante est alors posée aux élèves :

Mets-toi à la place de **Mr Charcot** : **quelle demande ferais-tu au maire afin de montrer si tu as raison ou non ?**

(Remarque : il ne s'agit pas de demander au maire ce qu'il va faire de l'argent récolté, ce qui est une autre question.)

L'objectif de ce test est de connaître la proportion d'élèves ayant tendance à **demande le contrôle** d'une affirmation par le **recours à l'expérience** lorsque c'est possible.

### TEST N°4 [Volcans]

Il permet d'apprécier la plus ou moins grande réceptivité des élèves à accepter un **modèle** en guise de **"preuve"**. Il porte sur une activité classique : la modélisation d'éruptions volcaniques à l'aide de purée ou de ketchup.

Le texte suivant est proposé aux élèves :

Un explorateur se demande pourquoi existent dans le monde deux grands types de volcans :

- les "rouges" dont la lave s'écoule facilement ;

- les "gris" dont la lave s'écoule mal et s'accumule en formant des bouchons compacts qui peuvent être évacués par blocs entiers, en explosant.

**Il pense** que c'est dû à l'existence de deux sortes de laves : l'une plus fluide, l'autre plus visqueuse.

Les modélisations sont alors décrites, introduites par la phrase : « **Pour savoir si c'est bien ce qui se passe dans les volcans**, il réalise les expériences suivantes ».

Les photos de deux montages, modélisant les deux sortes de volcans, s'accompagnent de commentaires décrivant, pour l'un, l'écoulement aisé d'une lave-ketchup fluide, et pour l'autre, l'évacuation par blocs de lave-purée visqueuse :



Les élèves doivent dire ce qu'ils pensent de la conclusion de l'expérimentateur :

« Grâce à ces expériences **je sais désormais ce qui se passe** dans les deux sortes de volcans : les “rouges” ont une lave fluide comme du ketchup qui s'écoule aisément, tandis que les “gris” ont une lave bien plus visqueuse qui s'accumule, fait bouchon, et tout finit par exploser ! »

Pour des élèves habitués aux “mises en évidence”, parfois accompagnées de modèles dont l'enseignant se sert sans en discuter les limites, il s'agit d'un indicateur de pensée critique élevée. D'autant que la modélisation choisie présente ce côté spectaculaire dont Bachelard déjà dénonçait l'effet trompeur dans *La formation de l'esprit scientifique*, avec l'exemple d'un modèle de volcan :

« Parfois on peut voir l'explication se fonder tout entière sur les traits parasites mis en surcharge. Ainsi se préparent de véritables aberrations. Le pittoresque de l'image entraîne **l'adhésion à une hypothèse non vérifiée**. Par exemple, le mélange de limaille de fer et de fleur de soufre est recouvert de terre sur laquelle on plante du gazon : alors vraiment il saute aux yeux qu'on a affaire à un volcan ! (...) l'imagination (...) n'aura plus qu'à dilater les dimensions et elle **“comprendra”** le Vésuve projetant lave et fumée. Un esprit sain devra confesser qu'on ne lui a montré qu'une réaction exothermique, la simple synthèse du sulfure de fer. Tout cela et rien que cela. La physique du globe n'a **rien à voir** à ce problème de chimie. » (1938, p. 36-37).

Bachelard conclut d'ailleurs :

« Aussi **l'esprit scientifique** doit-il sans cesse lutter contre les images, contre les analogies, contre les métaphores.  
**Dans nos classes élémentaires**, le pittoresque et les images exercent les mêmes ravages. » (p. 38).

C'est assez dire, non pas que de telles images pittoresques ne puissent être utiles, mais qu'elles sont à manier avec précaution.

Marat critiquait dès 1782 la “preuve”, apportée à l'aide de modèles, du fait que séismes et éruptions sont une “commotion électrique” terrestre, selon l'abbé Bertholon :

« (...) après s'être efforcé de prouver que les tremblements de terre et l'éruption des volcans sont des phénomènes électriques, “pour mettre cette vérité **hors de doute**, dit l'Auteur, j'emploie **une expérience qui la démontre aux yeux même**. (...) La machine électrique étant en jeu, on voit l'image des éruptions d'un volcan dans la répulsion des corps légers qui sortent du sommet, et sont lancés à une petite distance (...)” »<sup>361</sup>

Marat commente :

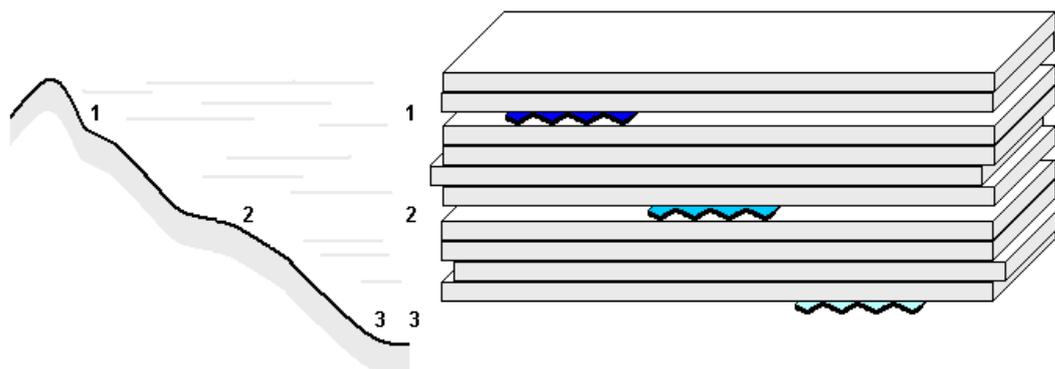
« Ne croiriez-vous pas qu'à la vue de cet appareil l'œil trompé va **prendre l'art pour la nature** ? »

C'est avec ce test la réflexion des élèves sur la valeur d'un contrôle des idées sans contact direct avec le réel qui est sollicitée : pour François Jacob, la démarche scientifique consiste à confronter sans cesse ce qui pourrait être et ce qui est ; ce n'est pas la même chose que de confronter ce qui pourrait être et ce qui *paraît* être dans un modèle.

<sup>361</sup> Marat, J.-P. (1782). *Recherches physiques sur l'électricité*, Clousier, 1782, p. 438-439.

Le **post-test n°4bis [UV]** double le post-test n°4 sur une autre modélisation : celle de l'atmosphère par des plaques de verre. Le texte suivant la relate aux élèves :

Raphaël, qui sait que les rayons ultraviolets (UV) venant du soleil sont dangereux pour la peau, a voulu démontrer que le risque était plus grand en montagne parce que l'atmosphère, qui absorbe les UV, y est moins épaisse. En plaine, les rayons UV traversent davantage d'air, ce qui les filtre plus. Pour le prouver, il a utilisé du "papier UV", papier spécial qui devient bleu quand il reçoit des UV, et il a construit un modèle de montagne avec des plaques de verre empilées (des lames de microscope). L'épaisseur du verre correspond à l'épaisseur de l'air. Raphaël a placé du papier UV sous différentes épaisseurs de verre, qui simulaient différentes altitudes en montagne, et exposé son modèle 30 minutes au soleil : plus l'épaisseur de verre était grande, moins d'UV sont passés (le papier 1 sous deux plaques de verre est devenu bleu foncé, le 2 (sous 6 plaques), bleu moyen et le 3 (sous 10 plaques), bleu clair).



La question suivante est alors posée aux élèves :

Voici ce qu'a écrit Raphaël en **conclusion** : Grâce à mon expérience, **je peux dire** que l'air de l'atmosphère agit comme un filtre : plus la couche d'air traversée est épaisse, moins on reçoit d'UV.  
Que penses-tu de la **conclusion** de Raphaël ?

Le texte de présentation et le questionnement associé ne sont présentés ni comme un test, ni en séance de SVT : ils sont proposés aux élèves lors d'une séance d'une autre discipline (Histoire-Géographie généralement), dans un document intitulé « Protection solaire » et sous-titré : « Les beaux jours approchent : amateurs de bronzage, le soleil comporte des dangers ! Analysons le travail accompli par un élève l'été dernier ».

Le niveau de ce test est de ce fait encore plus élevé, puisqu'à la difficulté de porter un jugement critique sur un modèle qui n'est pas la réalité s'ajoute le fait que "l'expérience" de physique présentée ne l'est ni en Physique, ni à propos des propriétés de la lumière mais sur un problème plus familier d'exposition de la peau au Soleil.

## **TEST N°5 [Doutes]**

Il se réfère au *doute*, dont Descartes comme Claude Bernard font une composante majeure de l'esprit scientifique, doute nécessaire pour susciter le contrôle. Les élèves doivent faire état de leur assurance, ou non, par rapport à 10 affirmations qui correspondent à des conceptions initiales classiques, en disant s'il s'agit dans chaque cas de quelque chose de certain, probable, douteux, incertain ou faux. En regard de chacune de ces affirmations indiqué, dans le tableau ci-dessous, le niveau de classe où chacun de ces sujets est traité : l'assurance des élèves devant varier si un enseignement est reçu sur la question entre pré- et post-test, nous tiendrons compte lors de l'analyse des résultats de ce facteur, au cas par cas en fonction des informations des enseignants.

| AFFIRMATIONS DU TEST N°5 |   | Niveau où cette question est traitée        |
|--------------------------|---|---|
| 1                        | Dans le ventre de sa mère, le bébé avale du lait  | 4°  |
| 2                        | Ce qu'on digère se retrouve en partie dans le sang  | 5°  |
| 3                        | Les "couches de roches" (strates) que l'on voit parfois à la montagne ou dans les falaises se sont déposées autrefois au fond de la mer | 5°  |
| 4                        | Dans le cycle d'une femme, les règles correspondent à l'évacuation de l'ovule   | 4°  |
| 5                        | Certains caractères héréditaires se transmettent par le sang  | 3°  |
| 6                        | Les grains de sable d'une plage faisaient partie ensemble, autrefois, de roches dures   | 5°  |
| 7                        | De l'estomac part un tuyau pour les liquides et un tuyau pour les solides   | 5°  |
| 8                        | Le cœur bat tout seul, même s'il n'y a plus de nerfs qui y parviennent  | 2de   |
| 9                        | En observant de l'eau pure à très fort grossissement on verrait des cellules  | 6°  |
| 10                       | Les deux extrémités d'un muscle long sont attachées à des os différents   | Ancien programme de 5° (jusqu'en 2005-2006) |

L'objectif est d'évaluer la plus ou moins grande circonspection et distanciation des élèves quant à leurs propres conceptions spontanées, et de voir s'ils acquièrent une habitude de mise en doute qui l'emporte sur la persévérance, assez courante chez les élèves, à affirmer sans savoir.

### TEST N°6 [Étapes]

Ce test demande aux élèves les étapes suivies, selon eux, dans la recherche scientifique, afin d'apprécier l'évolution, en fonction des investigations conduites en classe, de leur représentation de ce qui se déroule dans le monde scientifique :

À votre avis, comment se passe la **recherche scientifique** : quelles sont les **étapes** dans le travail d'un chercheur, dans quel ordre procède-t-il ?

### Tests et contenus d'enseignement

Quatre tests sont sans rapport avec les contenus d'enseignement (tests n°s 2, 3, 4bis et 6).

Les tests n°1 et n°4 correspondent aux contenus des programmes d'autres niveaux, susceptibles d'être ceux de l'année précédente, ce qui *a priori* ne peut que jouer dans le sens d'une meilleure réponse aux pré-tests qu'aux post-tests -si, bien sûr, comme le programme le prévoit, le professeur de 6° a fait émettre aux élèves diverses hypothèses sur la répartition des êtres vivants, et si celui de 4°, s'il a modélisé les volcans, a fait ressentir aux élèves la distance entre un modèle et la réalité.

Le test n°5 concernant différents niveaux un tableau spécifique de correspondance a été présenté.

| TESTS  | Niveau où cette question est traitée                      |
|--|---|
| TESTS N°2 ; 3 et 4bis<br>[Lune, Parking et UV] | Aucun   |
| TEST N°1 [Plantes]                             | 6°  |
| TEST N°4 [Volcans]                             | 4°  |
| TEST N°5 [Doutes]                              | Variable (voir tableau spécifique pour ce test ci-dessus) |
| TEST N°6 [Étapes]                              | Aucun (en tant que <i>contenu</i> )                       |

### 3.1.1.2. Questionnement des élèves

#### QUESTIONNAIRE-ÉLÈVES DE DÉBUT ET DE FIN D'ANNÉE

Nous avons recueilli, en début puis en fin d'année, les préférences déclarées par les élèves concernant la conduite des séquences de sciences par un professeur, leur facilité ou difficulté à s'y impliquer, et ce qu'ils estiment préférable pour leur compréhension.

Les élèves avaient le choix de se déclarer, pour chaque affirmation ci-dessous, tout à fait d'accord, plutôt d'accord, plutôt pas d'accord ou pas du tout d'accord :

Tu as constaté, dans les classes précédentes, qu'en SVT on abordait souvent les phénomènes sous la forme de **questions ou problèmes dont on cherche l'explication**. Ce questionnaire rapide a pour but de connaître **ton ressenti et tes préférences** dans la manière d'arriver aux solutions des problèmes abordés.

1/ En SVT, quand on aborde un phénomène inexpliqué :

- je préfère que le professeur nous donne la solution tout de suite.
- je préfère que le professeur nous indique quelle expérience ou observation nous donnera la solution.
- je préfère que le professeur nous laisse chercher quelle expérience ou observation pourrait aboutir à la solution.

2/ En SVT, j'ai du mal à trouver des hypothèses.

3/ En SVT, j'ai peur de proposer des hypothèses qui seraient fausses, même si elles sont logiques.

4/ En SVT, je comprends mieux quand on réalise une activité que j'ai proposée pour résoudre un problème.

5/ En SVT, quand on aborde un phénomène inexpliqué, je n'aime pas devoir écouter les explications imaginées par les autres élèves.

6/ En SVT, quand on aborde un phénomène inexpliqué, je comprends mieux si j'imagine d'abord ma propre explication, même si elle est fausse.

#### QUESTIONNAIRE-ÉLÈVES COMPLÉMENTAIRE DE FIN D'ANNÉE

Les élèves ont également été interrogés, en fin d'année, sur les différences qu'ils avaient pu ressentir par rapport aux pratiques habituelles, afin d'affiner et de compléter les données précédentes :

**1.** Les séances **de SVT** de cette année t'ont-elles paru *différentes* de celles des autres années dans la *manière* de faire classe du professeur ? Si oui, *en quoi* ?

Attention : il ne faut pas prendre en compte les différences de matériel, d'horaire, d'effectif... Mais seulement des différences dans la façon de conduire les séances.

**2.** Penses-tu que la **manière de procéder de ton professeur de SVT cette année permet** :

- A.** une meilleure prise en compte des propositions des élèves ?
- B.** de mieux comprendre ?
- C.** de mieux savoir pourquoi on fait telle activité en classe ?

Les élèves pouvaient, s'ils le souhaitaient, faire des commentaires à ce sujet.

### 3.1.1.3. Questionnement des enseignants

En complément, les professeurs collaborateurs ont été invités à se prononcer sur leur perception des attitudes et des réactions de leurs élèves pendant la période de mise en œuvre de l'enseignement préconisé, à l'aide d'un questionnaire comportant ces questions :

- Quels changements cet outil a-t-il entraîné dans votre pratique ?
- Comment les élèves ont-ils réagi ?
- Quels changements avez-vous perçu chez les élèves ?

### 3.1.2. Critères retenus pour le traitement des informations

Pour les trois premiers tests, les indicateurs choisis recoupent ceux qui, dans la grille d'attitudes scientifiques présentée par A. Giordan (tableau Host-Giordan, 1978b, p. 126-127 et 1999, p. 96-97), sont susceptibles de transparaître dans des questionnaires écrits :

| OBJECTIFS D'ATTITUDES SCIENTIFIQUES<br>(Tableau Host-Giordan) [extrait] |  |   | Tests correspondants |
|---|--|---|----------------------|
|   | Définition général de l'objectif   | Indicateurs optimum du comportement de l'enfant (exemples)  |                      |
| <b>A.2.<br/>Créativité</b>  | Savoir envisager des directions multiples (intelligence divergente) et trouver les idées de solutions nouvelles devant une situation donnée.                     | Être capable de concevoir un grand nombre d'hypothèses ou de solutions différentes devant un problème donné.  | N°1<br>Plantes       |
| <b>A.3.<br/>Confiance en soi</b>  | Penser trouver une solution soi-même.  | Chercher à résoudre un problème par l'observation et l'expérimentation au lieu de se reporter aux sources d'informations.   | N°2<br>Lune          |
| <b>A.4.<br/>Pensée critique</b>   | Être disposé à s'appuyer sur l'expérience (au sens large) pour remettre en question les représentations personnelles ainsi que les affirmations reçues d'autrui. | <b>4.2.</b> Exiger la justification d'une affirmation ou la confirmation d'un témoignage, soit par le recours à l'observation ou l'expérimentation, soit par le recours à des documents précis. | N°3<br>Parking       |

On attend en effet de l'élève, dans le test n°1, un grand nombre d'hypothèses et de moyens de les tester, dans le n°2, le choix du recours à l'expérimentation pour savoir ce qu'il en est de l'influence de la Lune, et dans le n°3, l'exigence de la justification de l'affirmation du maire par le recours à une expérience sur la circulation. Ces deux derniers tests permettent de distinguer le *choix* de l'expérience parmi des solutions possibles de la *proposition* spontanée d'y recourir, dont nous avons fait deux indicateurs différents.

Les critères retenus comme indicateurs de l'esprit scientifique des élèves se rapportent à ses deux composantes majeures identifiées (partie 1.5.1.) :

- Le **premier esprit scientifique**, notamment caractérisé par l'**esprit créatif** (imaginaire, liberté d'esprit, audace, intuition...);
- Le **second esprit scientifique**, dans lequel jouent le **doute** et l'**esprit de contrôle**.

| COMPOSANTES DE L'ESPRIT SCIENTIFIQUE                             | CRITÈRES |   | Tests concernés            |
|--|----------|---|----------------------------|
| Premier esprit scientifique<br><br>ÉLAN ET ESPRIT CRÉATIF        | C1       | Aisance à <b>proposer plusieurs hypothèses</b> alternatives   | N°1-Plantes                |
|  | C2       | Capacité à <b>élaborer</b> des hypothèses <b>recevables</b> (explicatives)  | N°1-Plantes                |
|  | C3       | Habilité à <b>concevoir des tests</b> appropriés (si... alors)  | N°1-Plantes<br>N°3-Parking |
| Second esprit scientifique<br><br>ESPRIT DE DOUTE ET DE CONTRÔLE | C4       | <b>Choix</b> d'un <b>contrôle expérimental</b> pour une affirmation douteuse <b>dans</b> le domaine scientifique                              | N°2-Lune                   |
|  | C5       | <b>Proposition spontanée</b> d'un <b>contrôle expérimental</b> pour une affirmation douteuse autoritaire, <b>hors</b> du domaine scientifique | N°3-Parking                |
|  | C6       | <b>Résistance</b> à la présentation d'un <b>modèle expérimental</b> en guise de " <b>preuve</b> ", dans le domaine scientifique               | N°4-Volcans                |
|  | C7       | <b>Résistance</b> à la présentation d'un <b>modèle expérimental</b> en guise de " <b>preuve</b> ", hors du domaine scientifique               | N°4bis-UV                  |
|  | C8       | Extension du doute aux <b>certitudes spontanées</b><br>Diminution des affirmations sans savoir  | N°5-Doutes                 |
| Articulation des deux esprits scientifiques                      | C9       | Évolution des idées sur le cheminement des chercheurs scientifiques   | N°6-Étapes                 |

**Correspondance entre les critères retenus et les différents tests**

### 3.1.3. Publics concernés

Les élèves de vingt classes de dix établissements différents, répartis sur les trois académies de la région parisienne, et dix professeurs-collaborateurs, ont participé à notre étude.

| Correspondance entre les classes et les âges moyens : | Classes   | Âges moyens |
|---|-----------|-------------|
|   | Cinquième | 12 ans      |
|   | Troisième | 14 ans      |
|   | Seconde   | 15 ans      |
|   | Première  | 16 ans      |

1. Six classes correspondant à trois niveaux d'enseignement ont passé l'ensemble des pré- et post-tests et rempli les deux questionnaires (de début et de fin d'année) : deux classes de Cinquième, deux de Troisième et deux de Seconde :

| Classes | Professeurs            | Établissements  | Nombre d'élèves |
|---------|------------------------|---|-----------------|
| 5°2     | Martine Sache          | Collège Gérard Philippe<br>77831 Ozoir-La-Ferrière    | 25              |
| 5°7     | Guillaume Dartiguenave | Collège Jean-Baptiste Vermay<br>77220 Tournan-en-Brie | 26              |
| 3°3     |                        |   | 26              |
| 3°4     |                        |   | 26              |
| 2°4     | Isabelle Kerneis       | Lycée St Pierre Fourier<br>75012 Paris                | 29              |
| 2°12    | Laurence Lossouarn     | Lycée François Joseph Talma<br>91800 Brunoy           | 34              |
|         |                        |   | <b>166*</b>     |

*\*En raison des grèves et des mouvements de lycéens en cours d'année scolaire, il y a davantage d'absents aux post-tests qu'aux pré-tests. L'effectif global minimal enregistré lors de la passation d'un post-test est de 114 élèves pour les six classes. Pour la même raison, la passation des post-tests, prévue initialement en avril, a parfois été repoussée jusqu'en juin.*

2. Le questionnement des élèves sur les différences qu'ils ont pu ressentir par rapport aux pratiques d'enseignement habituelles a pu être étendu à dix autres classes : cinq de Cinquième, trois de Troisième et deux de Seconde. Six d'entre elles, au Collège, ont les mêmes enseignants.

| Classes  | Professeurs            | Établissements                                    | Nombre d'élèves |
|--|------------------------|---|-----------------|
| <b>5°1</b><br><b>5°3</b><br><b>5°4</b><br><b>5°5</b> | Martine Sache          | Collège Gérard Philipe<br>77831 Ozoir-La-Ferrière | 27              |
|  |                        |   | 24              |
|  |                        |   | 25              |
|  |                        |   | 25              |
| <b>3°2</b>   | Guillaume Dartiguenave | Collège J.-B. Vermay<br>77220 Tournan-en-Brie     | 15              |
| <b>3°7</b>   |                        |   | 18              |
| <b>5°1</b>   | Krystyna Richer        | Collège Évariste Galois<br>92000 Nanterre         | 21              |
| <b>3°3</b>   |                        |   | 19              |
| <b>2°7</b>   | Sophie Mouge           | Lycée Marcelin Berthelot<br>93500 Pantin          | 24              |
| <b>2°8</b>   | Anne-Sophie Miquel     | Lycée Gabriel Fauré<br>75013 Paris                | 32              |
|  |                        |   | <b>230</b>      |

3. De plus, un contrôle de certaines conclusions partielles nées en cours de recherche a été mené par une investigation sur des points précis, en direction de classes de Première Scientifique (sur lesquelles n'est cependant pas centrée notre étude) :

| Classes        | Professeurs      | Établissements                           | Nombre d'élèves |
|----------------|------------------|--|-----------------|
| <b>1°S2a</b>   | Danièle Macaire  | Lycée Carnot<br>75017 Paris              | 33              |
| <b>1°S3</b>    | Françoise Dreyer | Lycée Jean de La Fontaine<br>75016 Paris | 28              |
| <b>1°S1/S2</b> | Yann Esnault     | Lycée Racine<br>75008 Paris              | 24              |
| <b>1°S2b</b>   | Sophie Mouge     | Lycée Marcelin Berthelot<br>93500 Pantin | 30              |
|                |                  |  | <b>115</b>      |

### 3.1.4. Limites

#### 3.1.4.1. Portée générale de l'étude

Michel-Eugène Chevreul, qui est, au XIX<sup>e</sup> siècle, ainsi que l'ont montré G. Canguilhem (1968) et J. Gayon (1996), le "père" de la méthode expérimentale et l'inspirateur de Claude Bernard, plaçait régulièrement en tête de ses ouvrages sa devise, empruntée à Malebranche :

« On doit tendre avec effort à l'infaillibilité sans y prétendre. »

Plus modestement peut-être, mais dans le même esprit, Michel Develay, auteur de réflexions « sur la méthode expérimentale » (*Aster*, 1989), qualifie, dans ses *Propos sur les sciences de l'éducation*, la scientificité en ce domaine comme un « horizon inatteignable » (2001, p. 77). Plus précisément :

« (...) à force de simplifier le réel en travaillant sur quelques variables seulement, on exclut parfois le sujet, voire la multicausalité. » (p. 108).

Il nomme "attitude Jivaro" celle qui consiste à réduire au maximum les conditions pour mieux les contrôler, et l'oppose à l'attitude dogmatique de celui qui « statue sur tout à partir de ses intimes convictions, quelle que soit la générosité de son propos ». Il faut à la fois, dit-il,

« (...) ne pas tomber dans le travers d'une approche expérimentaliste menacée de réductionnisme, et dans les travers d'une approche généraliste et globaliste menacée d'enflure. » (p. 113).

Le présent travail n'échappe pas à l'impossibilité de contrôler tous les facteurs externes à l'influence de l'enseignement préconisé et pouvant agir sur l'esprit scientifique des élèves. Il est nécessaire, pour que cet enseignement puisse être efficace, que les professeurs collaborateurs soient convaincus de son intérêt pour les élèves, sans quoi ils ne se seraient d'ailleurs pas engagés dans cette collaboration : dès lors, il est difficile de leur demander de l'appliquer dans certaines classes et pas dans d'autres pour disposer de témoins. Et faire passer les tests et les questionnaires dans les classes d'autres professeurs introduit un biais supplémentaire.

Des limites sont donc inhérentes au fait qu'on ne peut obtenir de résultats "toutes choses égales d'ailleurs", selon le mot d'Aristote<sup>362</sup> : ici, élèves à profils et mentalités identiques, mêmes professeurs (de sciences et d'autres matières), mêmes influences externes.

En toute rigueur logique, toute amélioration perçue par l'analyse comparative des tests avant et après l'enseignement de type DiPHTeRIC ne pourra lui être attribuée avec certitude, puisque, comme nous le dit encore Aristote avec sa logique implacable<sup>363</sup>, l'effet existant, s'il y a plusieurs causes possibles, on ne peut savoir à laquelle l'attribuer – ce serait commettre la faute qui, dans la *disputatio* de la scolastique, était désignée par la formule, citée aussi bien par John Stuart Mill (1843, V, V) que par Claude Bernard (1865, p. 91) : *post hoc, ergo propter hoc* (après ça, donc à cause de ça). Si les élèves n'ont pas progressé dans le sens attendu, on ne peut pas même conclure, comme avec Popper en sciences, qu'il y a réfutation et que l'outil préconisé ne vaut rien.

Les seules conclusions rigoureuses, pour un esprit scientifique, et on ne saurait en attendre moins dans un travail de thèse sur ce sujet qui convoque de nombreuses autorités scientifiques, sont que si les élèves ont progressé, notre outil ne les en aura pas empêchés, ou pas suffisamment empêchés pour qu'il y ait progrès, et de même s'ils ont régressé. Nous ne pouvons, ainsi que nous l'avons

---

<sup>362</sup> *Seconds Analytiques*, I, 25.

<sup>363</sup> *Seconds Analytiques*, II, 16.

analysé en 1.2.2.2., *abduire* une conclusion qui pourrait être abusive, mais seulement affirmer avoir résisté au *modus tollendo tollens*.

Autant dire que, à l'instar de Whewell et contrairement à Newton, nous ne prétendons pas à l'impossible démonstration mathématique, mais cherchons à voir si la mise en œuvre de notre outil s'accompagne d'une amélioration d'attitudes caractéristiques de l'esprit scientifique que l'enseignement traditionnel ne parvient habituellement pas, comme l'ont montré les diverses études que nous avons présentées, à développer.

### **3.1.4.2. Limites liée aux outils d'évaluation élaborés**

Par ailleurs, les tests et questionnaires mis en œuvre n'ont qu'une portée partielle et ne balaient pas tout le champ des attitudes qui pourraient révéler un développement de l'esprit scientifique. Les tests ne révèlent pas l'élan, l'envie de se poser des questions, l'esprit de recherche et d'exploration, l'audace dans l'imaginaire qui composent aussi le premier esprit scientifique. Ils n'explorent pas non plus, pour le second esprit scientifique, la reconnaissance des limites de ses propres hypothèses, la rigueur protocolaire (ne faire varier d'un seul facteur, établir un témoin), ou encore l'apprentissage de la modestie lié à l'acceptation du verdict rendu par le contrôle des idées.

D'autre part, les questionnaires d'élèves comme d'enseignants reposent sur leur vision subjective.

Néanmoins, nous pensons que les données, même partielles, recueillies avec ces outils d'évaluation, sont susceptibles de laisser transparaître un sens d'évolution générale, s'il a quelque réalité.

Nous avons également demandé aux professeurs de procéder, pour chaque problème traité, au relevé des propositions d'hypothèses et de tests faites par les élèves, ainsi que d'estimer la qualité de la discussion par les élèves de la recevabilité des hypothèses et leur spontanéité à passer d'une étape à l'autre dans la démarche (fiches PHyTe, Problèmes – Hypothèses – Tests. Les annexes VI présentent de telles fiches (VI-R1 : fiche PHyTe vierge ; VI-R2 : fiche PHyTe établie à partir de données de documents d'accompagnement et du début d'une des progressions fournies, proposées à titre d'exemples aux enseignants)).

Ces relevés avaient pour objectif de détecter une éventuelle augmentation de ces paramètres, mais il est vite apparu qu'ils étaient trop dépendants de la nature du problème traité, de son caractère plus ou moins énigmatique, de la variété des conceptions des élèves sur le sujet, de l'existence ou non d'une explication semblant s'imposer d'emblée. Ainsi, comme l'a noté l'un des professeurs collaborateurs, le prolongement justifié de la discussion entre élèves sur la recevabilité d'une hypothèse peut se faire au détriment du passage d'une étape à l'autre dans la démarche, mais en étant bien plus un signe de pugnacité à défendre une hypothèse controversée que de déficit de spontanéité à envisager la suite de la progression. Nous retrouvons donc ici la difficulté mentionnée à propos du "toutes choses égales d'ailleurs", qui nous a conforté dans l'idée de maintenir l'identité entre pré- et post-tests.

Les relevés PHyTe ont néanmoins conservé un intérêt certain : ils sont révélateurs de la séquence effectivement mise en œuvre dans la classe, ils peuvent éviter au professeur, à qui il est demandé de prêter attention aux diverses hypothèses et aux diverses propositions de tests émis, de trop se focaliser sur l'une d'entre elles, il permet enfin de confirmer que les propositions d'élèves prévues dans les séquences fournies aux enseignants à partir de quelques classes se retrouvent à une plus vaste échelle. Des professeurs collaborateurs, ou d'autres utilisant DiPHTeRIC, ont signalé cette conformité, au point que certains ont même pu penser qu'ils pouvaient s'abstenir de ces relevés :

« Voici un exemple de recueil d'hypothèses en 5<sup>ème</sup>.

J'ai un peu l'impression de répéter ce que tu nous as envoyé, car j'ai obtenu sensiblement les mêmes réponses que toi pour l'instant. » Isabelle Kerneis (Lycée St Pierre Fourier).

« Je vous renvoie une fiche recueil, elle n'est pas tellement remplie car je suis à peu près votre progression et les élèves me répondent toujours ce que vous supposez qu'ils vont répondre (ce sont de bons élèves). Je vous envoie donc juste une question qui n'apparaissait pas sur votre progression et que les élèves ont spontanément posée. Ils ont eux mêmes émis des hypothèses et réfléchis aux tests. » Cécile Reynier (lycée Carnot).

« la démarche de génétique, c'était du vrai bonheur, à la fin il y en a même qui m'ont dit « ah ça y est on a la réponse à notre problème initial !!! » avec de la lumière dans les yeux. » Sylvie Jalabert (lycée Gabriel Fauré).

« j'ai bien fait comme tu as dit ça marche hyper bien, pour le moment mes deux classes de Seconde réagissent au quart de tour. » Anne-Sophie Miquel (lycée Gabriel Fauré).

« H et Te recueillies mais fiches non remplies. En effet, les hypothèses acceptables des élèves correspondaient toujours aux hypothèses qui figurent dans les séquences. Du coup, je ne vois pas l'intérêt de remplir tes fiches... car rien de nouveau. » Romina Seyed (lycée Victor Hugo).

D'autre part, ces recueils viennent enrichir les « banques *PHyTe* » que nous avons commencé à constituer avec l'aide des stagiaires de l'IUFM de Paris, dans lesquelles, pour un problème scientifique donné, sont listées les hypothèses et les propositions de tests classiquement obtenues d'élèves de tel ou tel niveau, sur lesquelles nous reviendrons (partie 5.2.3.).

## 3.2. Consignes et documents fournis aux enseignants collaborateurs

### 3.2.1. “Cahier des charges”

Deux fiches descriptives de l’outil ont été remises aux enseignants, pour solliciter leur collaboration, préciser les attentes de la recherche menée et servir ensuite de référence générale : l’une porte sur le modèle DiPHTeRIC, l’autre sur son mode d’emploi (annexes IV, F1 et F2).

#### Fiche Expérimentation : L’outil DiPHTeRIC

##### 1. Le modèle

Le modèle de cheminement scientifique DiPHTeRIC a été présenté aux enseignants comme fondé sur l’analyse de travaux menés en épistémologie et en histoire des sciences, et son imperfection par rapport à la démarche effective du chercheur a été soulignée.

Son schéma général, ainsi que son adéquation avec les descriptions à vocation didactique de D. Gil-Pérez (1993) ou A. Giordan (1999) ont été montrés aux enseignants à l’aide des figures 6, 8 et 9 de la partie 2.

Leur attention a été attirée sur la non-linéarité de la démarche, et sur l’importance des moments de **création intellectuelle** représentés sur la figure 9 par des “colonnes” plus élevées, nécessitant des “sauts” inventifs.

Les précisions suivantes ont également été fournies :

Il est clair que la situation de classe est artificielle et très différente d’un contexte de recherche scientifique réelle (que les élèves pourraient connaître par des *analyses historiques*). Dans cet artifice, l’enseignant se borne à réunir les conditions d’une *initiation* pour développer chez les élèves une **activité intellectuelle** comparable à celle des chercheurs.

Les **hypothèses** constituent la clef de voûte de ce modèle. « Sans hypothèse, dit Claude Bernard, il n’y a pas de science, et le jour de la dernière hypothèse serait le dernier jour de la science » C’est un saut dans l’inconnu, et le moment majeur, avec la conception de tests, où peut jouer **l’initiative** des élèves.

À ce stade joue le “**premier esprit scientifique**”, l’interrogation sur le monde, la curiosité, l’intuition, l’analogie, l’induction, *l’invention d’un monde possible* –mais avec une part de cohérence : des hypothèses fondées, correspondant au problème, non opposées aux acquis.

Ensuite intervient le “**second esprit scientifique**” : la déduction logique de conséquences à partir de l’hypothèse (si... alors), l’analyse et l’interprétation rigoureuse des résultats –mais avec une part d’inventivité dans l’élaboration d’un test, qui peut aussi se retrouver dans l’interprétation.

## Fiche Expérimentation : L'outil DiPHTeRIC

### 2. Mode d'emploi

La seconde fiche est destinée à présenter la « didactique de l'initiative » dans le cadre de laquelle est conçue l'utilisation de l'outil DiPHTeRIC.

Le principe fondamental est d'abord énoncé :

Dans les **séquences de résolution de problèmes**, laisser une **part d'initiative conséquente** aux élèves, afin qu'ils tentent d'y parvenir par **leurs propres forces intellectuelles**.

Les moments essentiels estimés formateurs pour l'esprit scientifique sont précisés :

- Émission d'hypothèses explicatives ;
- Discussion de leur recevabilité ;
- Déduction de conséquences logiques ;
- Proposition de tests adaptés.

Le « diagramme ferroviaire » (figure 12, partie 2.4.2.) traduit alors visuellement ce qui est attendu pour *aiguillonner sans aiguiller*, avec les **voies 4 et 5** préconisées et la **voie 1** classique, de type OPAC, à éviter.

Dans cette fiche, il nous a paru nécessaire de préciser quels devaient être, pour respecter le mode d'emploi de notre outil, les rôles du professeur dans certains moments-clés :

#### 1. Choix du problème à traiter.

L'idéal est que les élèves aient réellement à « se creuser la tête » pour le résoudre : l'interrogation ne doit pas être trop évidente (ex. comment varie le rythme cardiaque à l'effort ? –il augmente...). Elle doit aussi, si possible, générer une proposition réfléchie : ainsi en 3<sup>ème</sup>, la question classique « où est située, dans la cellule, l'information génétique ? » amène deux « hypothèses » immédiates (noyau ou cytoplasme), qui sont un peu comme pile ou face : cela devient plus formateur lorsqu'on demande ce qu'on pourrait faire pour le savoir. Tandis que le problème fonctionnel « comment expliquer que les mêmes parents puissent avoir des enfants différents ? » conduit d'emblée à des hypothèses explicatives : spermatozoïdes différents, ou ovules, ou développement différent d'œufs identiques... (voir fiche « Génétique en Troisième »).

#### 2. Dialogue avec les élèves

- Entre les différentes étapes de la démarche, recourir à des questions de stimulation *si nécessaire*.
- Contrôler, avec les élèves, la recevabilité de leurs propositions.
- Accueillir une hypothèse d'élève sans laisser voir par son attitude s'il s'agit de la bonne ou d'une mauvaise : montrer qu'on n'attend pas spécifiquement la bonne, mais une qui soit logique. Les élèves ont vite fait de mettre leurs hypothèses à l'épreuve de... la moue du professeur !
  
- Ne pas limiter l'expression de l'esprit scientifique par des contraintes techniques : le professeur dira si les propositions de tests des élèves sont réalisables en classe, ou réalisés par la communauté scientifique, ou pourra proposer un équivalent (ex. : pour savoir si deux plaques s'écartent, y ficher des poteaux reliés par une corde qui devrait se rompre doit être une proposition jugée recevable par la classe, à laquelle le professeur (ou un autre élève) peut substituer une mesure par satellite).

#### 3. Introduction des documents et des activités

En dehors de la mise en place de la situation problème, toute documentation fournie ou toute activité effectuée devrait s'insérer dans la démarche, c'est-à-dire n'apparaître en classe que parce qu'elle correspond à une demande d'élèves, à une nécessité ressentie par eux pour avancer, ou parce

qu'elle en est un équivalent logique. Le professeur doit tenter d'être pourvoyeur en documents ou en matériel, à la demande, en s'accordant le droit de proposer des substituts, à discuter. Le meilleur moyen de répondre à cette demande est d'y surseoir (voie 3), en en prenant note en fin de séance afin de procurer aux élèves ce qui a été souhaité, et discuté, à la prochaine séance. Cette suspension constitue aussi un moment utile pour chercher les données relatives à une hypothèse imprévue, mais logique, et, si l'on ne trouve rien, pour réfléchir à la manière d'y revenir avec les élèves : si la tester n'apparaît pas possible (manque de données) ou pas souhaitable, mieux vaut, tout en en reconnaissant la logique, expliquer ce choix aux élèves.

Pour cet important travail sur le raisonnement des élèves, l'enseignant peut aussi décider, en situation d'investigation, d'*introduire des hypothèses supplémentaires*, en plus de celles qu'ils ont imaginées, même s'il les sait fausses (ou aussi bien si elles sont vraies), soit parce qu'il les connaît de l'histoire des sciences, soit qu'il s'agisse de celles émises dans un autre groupe ou une autre classe. Dans le monde de la recherche, comme dans la société, les idées sont à mettre à l'épreuve quelle que soit leur provenance.

Enfin, il nous a semblé essentiel d'aller au devant des obstacles qui habituellement font estimer aux enseignants que placer les élèves dans une investigation authentique est délicat, ou infaisable :

**Le problème du temps** : vouloir tout traiter sous la forme d'investigations visant à résoudre des problèmes paraît excessif. Mieux vaut le faire **moins, mais bien**, en choisissant de consacrer peu de temps à certains points du programme ("cours explicatif" réduit à l'essentiel) et ainsi en dégager pour des démarches DiPHTeRIC sur des sujets s'y prêtant mieux (= "**stratégie de l'accordéon**").

### **Le problème du nombre des hypothèses, des hypothèses imprévues, farfelues...**

Laisser les élèves exprimer leurs propositions peut sembler être une porte ouverte à une profusion embarrassante, ou à du "n'importe quoi". L'expérience montre qu'il est cependant aisé d'éviter ces pièges :

1. La discussion sur la **recevabilité** des hypothèses est un **filtre** efficace. Une hypothèse ne doit pas être retenue du simple fait qu'elle est émise, mais parce qu'elle a été "souplesée" par les autres élèves selon des critères de recevabilité. L'hypothèse proposée doit :

- ne pas être en contradiction avec les acquis antérieurs ;

- répondre au problème posé ;

- posséder un caractère explicatif (lorsque le problème posé est bien une recherche d'explication).

Le professeur suscite cet examen ("vous en pensez quoi, les autres ?"), laisse les élèves le faire sous son contrôle, sert de garant si nécessaire.

2. En plus d'être un filtre, cette discussion préalable joue souvent le rôle d'un **entonnoir** de convergence, deux ou plusieurs hypothèses revenant finalement au même...

3. La mise à l'épreuve d'une hypothèse **en teste souvent d'autres** en même temps : ainsi, quelle que soit le facteur externe au cœur imaginé comme cause de ses battements (nerfs, adrénaline, pression du sang...), l'activité qui perdure sur un cœur hors de l'organisme les réfute toutes.

4. Il n'est pas indispensable de tester **toutes** les hypothèses. Après avoir valorisé le fait d'en avoir **conçu** de recevables, on peut parfaitement, si l'on ne veut pas partir sur trop de pistes, faire le choix de celles qu'on estime pédagogiquement intéressantes : "je retiens pour l'instant celle(s)-ci pour voir ce que vous proposez, celle(s)-là on y reviendra plus tard". On peut également valoriser la **pertinence d'un test** proposé, sans vouloir à tout prix qu'il donne lieu à une activité. Ainsi une élève de 4<sup>e</sup> supposait des sédimentations successives pour expliquer le litage d'un gneiss, exemple d'hypothèse imprévue mais logique (sur un problème trop compliqué). "Vous en pensez quoi ? (...)  
Comment savoir ?" En datant les lits, proposa-t-elle. Ce n'est bien sûr pas faisable en classe, et il est inutile de chercher un document là-dessus : on peut se contenter de dire quel résultat on obtiendrait. Mais l'essentiel du travail intellectuel a été accompli par cette élève, par ailleurs ravie d'entendre que son idée, loin d'être absurde, était celle de géologues du XIX<sup>e</sup> siècle.

**Le problème des solutions immédiates (redoublant, lecture anticipée du livre...).**

Recueillir les hypothèses **par écrit** évite que les autres élèves se rangent à celle d'un redoublant, à qui on peut demander comment éprouver une *autre* hypothèse que la sienne. Si l'on souhaite recourir à un document du livre, mieux vaut le faire à la **flexcam** ou en le projetant sur transparent, pour éviter toutes les indications des textes environnants.

Pour terminer, la fiche donne ces précisions complémentaires :

**Placer les élèves face à un problème**, c'est les mettre à une certaine **distance intellectuelle** de la solution : à eux de tenter de s'en rapprocher, et de dire comment. Si on veut qu'ils la *cherchent*, il ne faut pas qu'ils n'aient qu'à la *constater* plus ou moins directement dans ce que leur demande de faire le professeur après l'énoncé du problème (analyse de documents, exécution d'une activité). La réflexion des élèves sur le problème, la manière dont l'introduction de documents ou d'activités peut être reliée à leurs propositions (non en "sautant sur l'occasion" mais en en faisant discuter le bien-fondé) permet d'éviter un effondrement de la tâche intellectuelle envisagée en partant d'un problème à résoudre. Un problème posé au tableau, mais non aux élèves, perd son rôle de **déclencheur de propositions**, de catalyseur de réactions, et n'a pratiquement plus qu'un rôle "décoratif" ("problème de Noël" en quelque sorte : à éviter !).

L'**outil DiPHTeRIC** a pour but de suggérer quel **type de question** poser ou quelle remarque faire éventuellement aux élèves pour *stimuler* leur progression, mais non pour *leur dire* où aller et quoi faire. Il est destiné à servir de levier pour cheminer à partir de propositions exploratoires **venant des élèves eux-mêmes**, en leur ménageant une **importante part d'initiative**, d'activité *intellectuelle*. Le **point crucial** réside dans le fait de laisser les élèves échafauder puis éprouver *leurs* hypothèses (sauf s'ils n'en ont vraiment pas : on peut alors leur en soumettre), de leur faire progressivement ressentir comme une évidence l'idée de tester les conséquences qu'*ils* en déduisent par les moyens de mise à l'épreuve qu'*ils* proposent, même si l'on choisit de leur substituer des moyens équivalents pour des raisons pratiques.

A défaut de réaction, et en dernier ressort, il sera toujours possible de fournir des données complémentaires, de poser des questions moins ouvertes... Jusqu'à un certain point où il doit être clair que, pour cette étape, on quitte l'investigation.

Les **questions de stimulation** que peut poser l'enseignant, s'il le juge utile, doivent laisser intacte l'initiative des élèves. Avoir en tête la logique *a priori* du cheminement de l'esprit permet de penser ses interventions sous forme de questions **incitatives, mais non révélatrices**.

**Le modèle s'utilise donc en étant lu "en creux"** : Di\_1\_P\_2\_H\_3\_Te\_4\_R\_5\_I\_6\_C : les tirets numérotés indiquent ce qui ne se voit pas à la simple lecture du sigle : pour la formation de l'esprit scientifique, ce ne sont pas tant les étapes qui importent que **la manière de passer** de l'une à l'autre. Les questions incitatives seront alors, par exemple : 1\_Tout vous paraît clair?... 2\_À votre avis?... 3\_Vous en pensez quoi ?, puis : comment savoir (si c'est bien ça, ou qui a raison) ?... Il s'agit donc, en pensant à la suite pour mieux éviter d'y propulser les élèves, de s'habituer à ne pas se laisser emporter par la tendance spontanée à fournir des solutions, directes ou à peine masquées. Quelles que soient les bifurcations possibles, **les sauts créatifs seront présents dès lors qu'il y aura construction des hypothèses puis, à partir des hypothèses, de tests possibles**. Ces sauts, on ne doit pas les faire à la place des élèves, d'où l'impérieuse nécessité, dans une approche privilégiant l'initiative des élèves, de les laisser libres de les effectuer.

### 3.2.2. Progressions fournies

Le détail de chacune des progressions proposées aux enseignants se trouve en annexes III (P1 à P12). Elles concernent les niveaux de classes et les thèmes suivants :

| <b>CLASSES</b>   | <b>PROGRESSIONS</b> | <b>THÈME</b>   |
|------------------|---------------------|--|
| 5 <sup>ème</sup> | <b>P1</b>           | Fonctionnement de l'organisme<br>Respiration – Digestion - Circulation |
| 3 <sup>ème</sup> | <b>P2</b>           | Génétique  |
|                  | <b>P3</b>           | Physiologie  |
|                  | <b>P4</b>           | Immunologie  |
| 2 <sup>de</sup>  | <b>P5</b>           | Planète Terre - Température terrestre                                  |
|                  | <b>P6</b>           | Planète Terre - Climats  |
|                  | <b>P7</b>           | Planète Terre - Saisons  |
|                  | <b>P8</b>           | Planète Terre - Enveloppes   |
|                  | <b>P9</b>           | Physiologie de l'effort  |
|                  | <b>P10</b>          | Intégration des fonctions  |
|                  | <b>P11</b>          | Unité du vivant  |
|                  | <b>P12</b>          | ADN  |

### **3.3. Mise en œuvre de la recherche**

#### **3.3.1. Phase préliminaire d'évaluation de la pertinence des tests**

Les tests élaborés ont été soumis à plusieurs classes dans une phase préliminaire, afin de vérifier leur adéquation en ce qui concerne leur présentation et de leur lisibilité.

Cette phase a également permis de résoudre le problème de la nature des post-tests par rapport à celle des pré-tests, ceux-ci pouvant être soit identiques, malgré le risque de reconnaissance lors de la seconde présentation, soit différents, sans stricte équivalence. Pour opérer un choix méthodologique, les deux options ont été expérimentées : deux post-tests ont été présentés aux élèves de deux classes de Seconde, six mois après le pré-test n°4. Celui-ci a été choisi parce que, présentant aux élèves une “expérimentation” mimant les manifestations volcaniques, il était le plus susceptible de rester dans leur mémoire. L'un des post-tests est identique au pré-test (post-test 4), l'autre lui est équivalent (post-test 4bis portant sur une modélisation non de volcans, mais de l'atmosphère). Ce contrôle n'a pas révélé d'impact, à six mois de distance, de la connaissance du pré-test sur les réponses au post-test.

Les deux post-tests ont été conservés : le second (4bis) concernant le thème général de la protection solaire, et étant présenté de manière indépendante par un autre professeur de la classe, permet de recueillir les réponses des élèves hors du contexte de l'enseignement des sciences, à la fois sur le fond (connaissance commune sur les dangers de l'exposition au Soleil) et la forme (passation hors des cours de sciences : les professeurs d'histoire-géographie ont été sollicités).

Les autres post-tests sont, du fait de l'absence d'impact constatée, identiques aux pré-tests, strictement ou à quelques détails près (ainsi le pré-test n°1 interroge-t-il les élèves sur la différence de répartition des végétaux entre une région proche et une éloignée du bord de mer, tandis que le post-test n°2 pose la même question pour des végétaux en plaine ou en montagne).

#### **3.3.2. Aspects pratiques de la recherche**

Les enseignants engagé dans la recherche ont dû concilier ma demande avec des contraintes diverses : temps nécessaire à la passation des tests et au renseignement des questionnaires, respect du mode d'emploi et de l'état d'esprit de l'outil mis en œuvre, modification de leurs séquences dans un sens conforme aux progressions fournies, relevé des propositions d'hypothèses et de tests, à quoi se sont ajoutées les perturbations causées par les grèves et des mouvements de lycéens en cours d'année scolaire, qui a conduit à repousser la passation des post-tests en mai-juin.

##### **Protocole.**

Pour préciser mes demandes ainsi que la chronologie les étapes successives de la recherche, les consignes suivantes ont été répertoriées dans le tableau suivant, des « 10 commandements » :

| <b>PÉRIODE</b>  | <b>PROTOCOLE - « 10 COMMANDEMENTS »</b><br>(qui ne sont que 7 !)  |
|---|---|
| EN DÉBUT<br>D'ANNÉE<br>(septembre 2007)   | <b>1.</b> Faire remplir le <b>questionnaire-élèves initial</b>  |
|   | <b>2.</b> Faire passer les <b>6 pré-tests</b> (durée environ 1h) dans les conditions d'un contrôle, en surveillant qu'ils répondent effectivement. Cela peut être fait par un collègue d'une autre matière.   |
| EN COURS<br>D'ANNÉE   | <b>3.</b> Enseigner en laissant une <b>part d'initiative</b> conséquente aux élèves, en suivant les <b>progressions fournies</b> (ou en s'en inspirant fortement) : demander aux élèves, pour chaque <b>problème</b> abordé, quelles sont leurs <b>hypothèses</b> , ainsi que les <b>tests</b> qu'ils proposent pour les mettre à l'épreuve.  |
|   | <b>4.</b> À chaque fois qu'un problème est soumis aux élèves, <b>relever les hypothèses et tests</b> qu'ils proposent (un élève peut les noter pour éviter les oublis), avec estimation par notation de 0 à 4 de qualité de la discussion par les élèves de la recevabilité des hypothèses et de la spontanéité à passer d'une étape à l'autre dans la démarche. <b>M'envoyer régulièrement</b> (pour ne pas les oublier) ces relevés par mail (sur la fiche de recueil fournie).<br>En cas de difficulté à effectuer ces relevés, je peux passer les recueillir ou encore en prendre note par téléphone. |
| EN AVRIL<br>2008  | <b>5.</b> Faire passer les <b>6 post-tests</b> (durée environ 1h).  |
|   | <b>6.</b> Demander à un prof d'une <b>autre matière</b> de faire remplir aux élèves :<br>- un questionnaire sur la protection solaire et les UV (estimation du réinvestissement hors contexte) ;<br>- un <b>questionnaire-élèves final</b> sur leur année de SVT (reprenant celui de début d'année).  |
|   | <b>7.</b> Remplir un <b>questionnaire-prof final</b> .  |
| <p>Seules les étapes 1, 2 et 7 prennent un temps supplémentaire sur l'horaire de SVT (environ 2h30 sur l'année).</p> <p>Je disposerai d'autant plus de données exploitables que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- les questionnaires et les tests sont remplis consciencieusement par les élèves,</li> <li>- les progressions que j'envoie sont utilisées (adoptées ou adaptées),</li> <li>- les propositions d'hypothèses et de tests qu'ils font me sont effectivement transmises,</li> <li>- un collègue d'une autre matière, prévenu à l'avance, accepte de faire passer <b>hors des SVT</b> l'étape 6 (en mars-avril).</li> </ul> |   |

### Consignes de passation des tests.

Pour la passation, l'ordre de passage demandé est celui qui permet au mieux d'éviter que la connaissance d'un des tests ait une influence sur la réponse à un autre ultérieur. Par exemple le test n°1, où l'on attend des élèves qu'ils proposent d'eux-mêmes un recours à l'expérience dans un contexte non scientifique, vient avant le test n°2, qui offre cette option.

| <b>ORDRE DE PASSATION</b> | <b>TESTS</b>       | <b>TEMPS INDICATIF</b> |
|---------------------------|--------------------|------------------------|
| <b>1</b>                  | TEST N°3 [Parking] | 10 min                 |
| <b>2</b>                  | TEST N°6 [Étapes]  | 5 min                  |
| <b>3</b>                  | TEST N°1 [Plantes] | 10 min                 |
| <b>4</b>                  | TEST N°5 [Doutes]  | 10 min                 |
| <b>5</b>                  | TEST N°2 [Lune]    | 15 min                 |
| <b>6</b>                  | TEST N°4 [Volcans] | 5-10 min               |
|                           | <b>TOTAL</b>       | 55-60 min              |

**Modalités** pratiques de passage pour chacun des tests :

1. « On lit ensemble les questions pour voir si vous comprenez bien » : s’assurer oralement que les élèves comprennent ce que leur demande chaque test, répondre à leurs éventuelles demandes d’éclaircissement en explicitant, si nécessaire, ce qui est attendu.

2. Les placer ensuite dans les conditions d’un contrôle : empêcher les discussions d’élèves entre eux. Les réponses collectives ou recopiées les unes sur les autres ne sont pas exploitables.

“**Lettre de recherche**”.

Enfin, en dehors des contacts par mail, téléphone ou directs qui ont eu lieu lorsqu’ils le jugeaient nécessaire, une “lettre de recherche” de suivi était envoyée chaque début de mois aux professeurs collaborateurs, afin qu’ils n’hésitent pas à me faire part de toute difficulté, retard ou question.

## Chapitre 4

# RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Les tableaux exhaustifs de présentation des réponses des différentes classes aux tests et aux questionnaires sont fournis en annexes IX, ainsi, en annexes X, que différents exemples de réponses d'élèves, d'où nous tirons les présentations synthétiques et les extraits utilisés ici.

### 4.1. Analyse globale des questionnaires élèves

Une vue d'ensemble sur les réponses générales des élèves avant et après l'enseignement préconisé permet, dans une première approche, de déceler certaines tendances, avant une analyse plus détaillée portant sur les tests.

Les données présentées dans cette partie reposent sur les déclarations des élèves et non, comme dans la partie 4.2., sur une étude de leurs productions. De ce fait, il m'a paru nécessaire de récolter un grand nombre de ces déclarations : les variations individuelles comme celles d'une classe à l'autre sont difficiles à interpréter sans une analyse plus poussée du profil de l'élève ou de la classe, qui n'entrait pas dans mes intentions lors de ces travaux, mais les réponses d'un panel relativement étendu de classes permettent de dégager quelques grandes lignes.

#### 4.1.1. Attitudes et attentes des élèves lors des investigations

Les questionnaires de début d'année et de fin d'année (annexes V, Q1 et Q2) présentent aux élèves les mêmes items. Nous regroupons ci-dessous les réponses de ceux qui se déclarent d'accord (qu'ils aient répondu "tout à fait d'accord" ou "plutôt d'accord") avec chacune des propositions :

| QUESTIONNAIRES DE DÉBUT ET DE FIN D'ANNÉE  |                             |     |                           |     |       |
|--|-----------------------------|-----|---------------------------|-----|-------|
| 16 CLASSES<br>Ayant suivi l'enseignement préconisé<br>(7 Cinquièmes, 5 Troisièmes, 4 Secondes) | DÉBUT D'ANNÉE<br>358 élèves |     | FIN D'ANNÉE<br>352 élèves |     | Écart |
|  | Nb                          | %   | Nb                        | %   |       |
| 1/ En SVT, quand on aborde un phénomène inexpliqué, je préfère que le professeur :             |                             |     |                           |     |       |
| 1a. nous donne la solution tout de suite   | 80                          | 22% | 70                        | 20% | -2%   |
| 1b. nous indique quelle expérience ou observation nous donnera la solution                     | 289                         | 81% | 202                       | 57% | -24%  |
| 1c. nous laisse chercher quelle expérience ou observation pourrait aboutir à la solution       | 268                         | 75% | 273                       | 77% | +2%   |
| 2/ J'ai du mal à trouver des hypothèses  | 194                         | 55% | 174                       | 49% | -6%   |
| 3/ J'ai peur de proposer des hypothèses qui seraient fausses, même si elles sont logiques      | 168                         | 47% | 135                       | 38% | -9%   |
| 4/ Je comprends mieux quand on réalise une activité que j'ai proposée                          | 197                         | 55% | 203                       | 58% | +3%   |
| 5/ Je n'aime pas devoir écouter les explications imaginées par les autres élèves               | 72                          | 20% | 54                        | 15% | -5%   |
| 6/ Je comprends mieux si j'imagine d'abord ma propre explication, même si elle est fausse      | 222                         | 62% | 207                       | 59% | -3%   |

Tableau I. Questionnaire de début d'année et de fin d'année (partie 1)

Ces réponses globales montrent que dès le début de l'année, lorsqu'un problème est à résoudre, une minorité d'élèves souhaite que le professeur donne la solution tout de suite (22%), tandis que les trois-quarts préfèrent pouvoir chercher par eux-mêmes (75%), chiffres qui ne varient pas de manière significative au cours de l'année, même si le premier baisse (-2%) tandis que le second augmente (+2%).

On observe d'autre part que la préférence pour une indication par le professeur de l'expérience ou de l'observation (l'article défini singulier est volontairement utilisé dans la phrase) qui donnera la solution au problème étudié régresse fortement : alors que les élèves étaient plus de 80% à souhaiter cette intervention en début d'année, ils ne sont plus que 57% en fin d'année (-24%).

L'attitude vis-à-vis de la part d'imaginaire, d'audace et de créativité associée à l'émission de "possibles" paraît également évoluer : la peur de proposer des hypothèses fausses recule (de 9%), ce qui semble pouvoir être associé avec le fait que les élèves disent avoir moins de mal à en trouver (-6%), tandis que dans le même temps baisse la réticence à écouter les explications imaginées par les autres élèves (de 20 à 15%).

L'analyse conjointe des réponses données par les élèves aux items **1.a**, **1.b** et **1.c** permet de proposer une interprétation plus affinée : en début d'année, les élèves déclarent très majoritairement préférer chercher par eux-mêmes (1.c), et repoussent la fourniture directe de solutions (1.a). Ils sont probablement sensibles au fait qu'on les considère capables de parvenir à une solution sans qu'on la leur fournisse, ainsi que l'exprime l'un d'eux, qui ne veut pas « *du tout-cuit* » (3<sup>o</sup>7).

L'accès à la connaissance leur est présenté depuis le début de leur scolarité comme un succès lié à leur activité : leurs réponses laissent transparaître l'idée que recevoir dans la foulée un problème et sa solution serait une conquête peu glorieuse. De plus, cela ne permettrait pas la mise en œuvre de ces activités qui, parfois au moins, rendent les sciences attractives.

Mais les élèves plébiscitent à la fois le fait qu'on les laisse chercher (1.c, 75%) et qu'on leur dise quoi faire (1.b, 80%) : il n'y a pas contradiction si, après les avoir un peu laissé chercher, on leur indique la bonne voie à suivre. Il semble donc que s'ils refusent la victoire sans gloire, ils s'y portent cependant sans audace : en début d'année, ils attendront qu'on leur dise, selon la coutume, quoi faire. On peut y voir le reflet de l'imprégnation par l'enseignement traditionnel des sciences : nous ferons *par nous-mêmes* et *après avoir cherché* (1.c) ce qu'on nous dira de faire (1.b).

Or, à l'issue de l'enseignement préconisé, l'adhésion de la réponse 1.c demeure élevée (et s'accroît même de 2%), alors que dans le même temps celle à la réponse 1.b chute considérablement (-24%), tout en restant cependant majoritaire (57%). Cette régression s'observe dans chacune des 16 classes employant l'outil DiPHTeRIC que nous avons suivies sur ce point, tandis que les relevés faits dans quatre classes en fin d'année au cours de la phase préliminaire corroborent, sans bien sûr la démontrer, l'idée que ce taux se situe régulièrement au-delà de 70% dans le cadre de l'enseignement habituel des sciences.

L'idée que l'imagination préalable de leur propre explication même fautive (item **6**) ou la proposition par eux d'une activité avant de la réaliser (item **4**) puisse favoriser leur *compréhension* est d'emblée majoritaire chez les élèves (respectivement 62% et 55%), et le demeure sans subir d'évolution notable (-3% pour l'un, +3% pour l'autre).

Les élèves ont moins peur de proposer des hypothèses fausses (item **3**, -9%) mais ne pensent pas pour autant parvenir à mieux comprendre. Comme si, peut-être, proposer une idée fautive n'était pas grave, mais n'était pas non plus ce qui permet d'avancer. Il se peut que l'on rejoigne ici un point épistémologique important : progresser en s'appuyant sur ses erreurs est une vision difficile à intégrer, même lorsque cela est vécu en pratique. Pasteur aurait probablement répondu comme les élèves, lui qui n'aimait guère exposer des idées peu sûres, et reprochait à Berthelot de le faire. Bachelard a montré quels obstacles épistémologiques constituaient les conceptions des élèves. Non seulement ce déjà-là est, comme le disait Bacon, difficile à déraciner, mais il fonctionne pour

l'élève et lui fournit des explications aux phénomènes rencontrés, qu'il ne croit pas fausses : même si explorer des pistes illusoire aide à les effacer, le saut est encore important pour aller jusqu'à concevoir que l'on a *de ce fait* progressé dans la compréhension. L'élève ne croit pas d'abord que ses explications soient fausses : « même si elles sont fausses » peut lui apparaître comme une mention de pure forme, ou concernant les affirmations des autres. Nous avons vu comment Giordan (1978b, p. 147-149) faisait de la perte de la certitude par les élèves un problème pédagogique majeur, l'acquisition du concept de "falsification" se situant à un niveau élevé dans la genèse de la méthodologie expérimentale (p. 178). Et si Popper s'est dégagé par ce critère du *vérificationnisme* du Cercle de Vienne, ce concept imprègne encore le "socle commun" : « formuler une hypothèse et la valider ». Or si l'on peut amener l'élève à douter de sa propre affirmation, à la contrôler et enfin à l'abandonner au profit d'une nouvelle conception, il sera plus enclin à garder de son ancienne vision le souvenir des déboires qui y sont associés plutôt que des services qu'elle a pu rendre en périssant. Ainsi un élève inscrit-il sur le questionnaire de fin d'année (annexe XI-34) :

« Quelquefois c'est dur de s'imaginer, on pense cette question simple et logique alors qu'en fait on se trompe car la réponse est complexe. Mais cela permet de nous faire réfléchir. » (3<sup>o</sup>2).

Remarques admirables de lucidité, qui expriment bien le *désenchantement* vécu. Cet élève se dit cependant "plutôt d'accord" avec l'item 6/ (je comprends mieux si j'imagine d'abord ma propre explication, même si elle est fausse) et le 4/ (je comprends mieux quand on réalise une activité que j'ai proposée pour résoudre un problème), mais il coche, quand on lui demande s'il pense que la manière de procéder de son professeur de SVT cette année permet de mieux comprendre, la case : "non, moins" (tableau III, item 2B). Peut-être parce qu'il se sent un peu perdu dans la nouvelle approche, à laquelle il reconnaît l'avantage de "faire réfléchir", tout en poursuivant aussitôt : « *Le cours n'est pas clair, on mélange tout et ne sait plus quoi apprendre.* »

#### 4.1.2. Bilans des élèves en fin d'année

La partie 2 des questionnaires de fin d'année invite chaque élève à s'exprimer sur la manière dont il a ressenti l'enseignement suivi.

| QUESTIONNAIRES DE FIN D'ANNÉE, partie 2 – 16 CLASSES  |            |            |           |       |
|---|------------|------------|-----------|-------|
| 1. Les séances de SVT de cette année t'ont-elles paru <i>différentes</i> de celles des autres années dans la <i>manière</i> de faire classe du professeur ?<br>Attention : il ne faut pas prendre en compte les différences de matériel, d'horaire, d'effectif... Mais seulement des différences dans la façon de conduire les séances. | oui        | non        | NSP       | Total |
|   | 211        | 118        | 23        | 352   |
|   | <b>60%</b> | <b>34%</b> | <b>6%</b> | /     |

Tableau II. Questionnaire de fin d'année, partie 2 question 1

La plupart des élèves interrogés estiment donc différente la manière de faire classe de leur professeur, mais pour un tiers d'entre eux, elle demeure conforme à ce qu'ils connaissaient déjà ; parmi ceux-ci plusieurs font remarquer qu'ils avaient le même professeur l'année précédente, percevant sans doute moins le changement que la continuité.

Ce renouveau, tout de même remarqué par 60% des élèves, favorise-t-il, selon eux, leur participation, leur compréhension ou leur implication dans les activités ?

| 2. Penses-tu que la manière de procéder de ton professeur de SVT cette année permet : | QUESTIONNAIRES DE FIN D'ANNÉE, partie 2 (suite) – 16 CLASSES |     |     |      |                     |     |            |     |         |    |       |
|---|--|-----|-----|------|---------------------|-----|------------|-----|---------|----|-------|
|   | nettement  |     | oui |      | non, pareil         |     | non, moins |     | NSP     |    | Total |
| A. une meilleure prise en compte des propositions des élèves ?                        | 87   | 25% | 171 | 49 % | 69                  | 20% | 8          | 2%  | 17      | 5% | 352   |
| B. de mieux comprendre ?  | 110  | 31% | 132 | 37%  | 72                  | 20% | 18         | 5 % | 20      | 6% | 352   |
| C. de mieux savoir pourquoi on fait telle activité en classe ?                        | 95   | 27% | 152 | 43%  | 71                  | 20% | 14         | 4%  | 20      | 6% | 352   |
|   | Amélioration :   |     |     |      | Sans amélioration : |     |            |     |         |    |       |
| <b>2A</b>   | (258) <b>73%</b>   |     |     |      | (77) 22%            |     |            |     | (17) 5% |    | 352   |
| <b>2B</b>   | (242) <b>69%</b>   |     |     |      | (90) 25%            |     |            |     | (20) 6% |    |       |
| <b>2C</b>   | (247) <b>70%</b>   |     |     |      | (85) 24%            |     |            |     | (20) 6% |    |       |

Tableau III. Questionnaire de fin d'année, partie 2, questions 2A, 2B et 2C

L'amélioration remarquée par les élèves de la prise en compte de leurs propositions (**2A**, 73%) n'est guère surprenante : c'est le cœur même du mode d'emploi de notre outil. Pour 70% des élèves de ces 16 classes (**2C**, 247 sur 352), cela leur permet de *mieux savoir pourquoi* une activité est menée à un moment donné : cette simple perception accrue par les élèves du sens de ce qui est fait en classe constitue déjà en soi une avancée notable.

Ils sont presque autant (**2B**, 69%) à déclarer ressentir un progrès, du fait du changement de procédure du professeur, dans leur *compréhension*. Cette affirmation, pour satisfaisante qu'elle soit, peut paraître contradictoire lorsqu'on la rapproche des réponses de ces mêmes élèves aux items **4/** et **6/** de la première partie du questionnaire (tableau I), qui les interrogent justement sur l'amélioration éventuelle de leur compréhension. Le changement de méthode du professeur est perçu, les élèves y discernent une meilleure prise en compte de leurs propositions et leur attribuent une compréhension plus aisée, et cependant chacun ne pense pas mieux comprendre qu'avant *du fait* de l'explication qu'il imagine ou de la prise en compte de sa proposition pour réaliser une activité.

Le délégué virtuel de cette cohorte d'élèves, voulant représenter au mieux les opinions exprimées par ses camarades en fin d'année, nous dirait en substance, l'œil passant d'une colonne à l'autre de son "antisèche" ci-dessous :

| <b>2B</b>                     | <b>2C</b>                 | <b>1c</b>               | <b>1a</b>                 | <b>1b</b>               | <b>2/</b>                | <b>3/</b>                | <b>5/</b>                | <b>6/</b>                            | <b>4/</b>                     |
|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Permet de mieux comprendre... | je sais mieux pourquoi... | nous laisse chercher... | nous donne la solution... | nous dise quoi faire... | j'ai du mal à trouver... | j'ai peur de proposer... | je n'aime pas écouter... | j'imagine d'abord mon explication... | activité que j'ai proposée... |
| 69%                           | 70%                       | 77%                     | 20%                       | 57%                     | 49%                      | 38%                      | 15%                      | 59%                                  | 58%                           |
|                               |                           | +2%                     | -2%                       | -24%                    | -6%                      | -9%                      | -5%                      | -3%                                  | +3%                           |

« Je comprends mieux avec cette progression où on nous demande d'imaginer des explications puis de proposer des activités pour les contrôler (**2B**), et je sais alors mieux pourquoi on fait telle activité (**2C**). Je préfère qu'on nous laisse chercher (**1c**) et que le prof ne donne pas la solution "tout cuit" (**1a**) ; j'ai surtout bien moins envie qu'avant qu'il nous dise quoi faire, même si j'aime toujours

assez ça (1b). Les hypothèses, j'ai un peu moins mal à en trouver (2/) et pas très peur d'en proposer qui seraient fausses (3/), écouter celles des autres me va (5/). Je comprends mieux si j'imagine d'abord mon explication (6/) ou si on réalise une activité que j'ai proposée (4/), mais c'était déjà le cas auparavant. »

On y voit une possible corroboration de notre interprétation : les élèves disent mieux comprendre avec la démarche nouvelle (69%) qui s'appuie sur *les* idées et *les* propositions des élèves, mais pas spécialement sur *leurs* idées et propositions.

Nous ne pouvons interroger ce délégué virtuel fort consensuel, mais nous pouvons écouter des remarques d'élèves provenant de la partie du questionnaire prévue pour leurs commentaires (annexes XI).

De la Cinquième à la Seconde, la même appréciation se retrouve :

« Je préfère cette année car le professeur explique mieux, j'aime bien sa façon de faire le cours où tout le monde peut dire ses idées. Contrairement à l'année dernière, je ne comprenais rien car on devait seulement écouter et on ne pouvait pas dire des hypothèses mais cette année on peut et donc c'est mieux. » (5°1).

« Nous avons pu trouver les réponses à certains problèmes tout seuls. » (5°7).

« L'année dernière on ne faisait pas d'activité on copiait sans forcément comprendre. » (5°7).

« On fait plein d'hypothèses, de tests, on a des A et des B et pas des notes. C'est mieux, moins stressant et on comprend donc mieux. On a pas du tout-cuit. » (3°7).

« Dans les autres cours, on a la réponse direct. » (3°4).

« On recherche nous-mêmes, avec des expériences. Et on apprend le cours pas par cœur mais avec de la logique et c'est plus simple. Même si les hypothèses sont fausses, il nous laisse chercher sans juger. » (3°4).

« On nous a laissé réfléchir sur le sujet cette année alors que les années précédentes on nous donnait le cours tel quel à apprendre sans écouter nos hypothèses. » (3°2).

« On est plus autonomes, on nous laisse du temps pour réfléchir, pour trouver tout seuls » (2de 5).

« Je réussis à mieux apprendre mes cours et je comprends plus qu'auparavant. Cette méthode est pour moi plus bénéfique car avant je ne comprenais pas vraiment mes leçons. J'ai préféré cette année pour la compréhension. » (2de 4).

« Plus d'expériences et de propositions d'élèves à propos d'un sujet du cours permet une meilleure compréhension. » (2de4).

« On utilise en permanence la démarche scientifique et on réfléchit plus pour trouver comment démontrer un fait, valider une hypothèse. » (2de12).

« L'année dernière, nous ne travaillions pas comme cela car on faisait simplement copier les cours, alors que cette année on cherche les hypothèses, les tests... par nous-mêmes. » (2de 12).

« On ne nous donne pas directement la solution mais on nous laisse chercher et tester par nous-mêmes. » (2de 12).

« Cette année, la prof nous laisse plus réfléchir sur le sujet pour mieux essayer de comprendre. Ce qui me donne plus envie de travailler. (...) Cette année c'est mieux car le prof nous propose une autre façon de travailler qui nous permet de réfléchir pour trouver des solutions et non pas de recopier le cours. » (2de 12).

D'autres exemples permettent de bien discerner le ressenti des élèves. Je précise qu'il ne s'agit pas d'un tri sélectif qui aurait mis de côté les réponses négatives : comme dans la recherche scientifique et l'investigation en classe, celles-ci permettent de progresser en didactique. Elles concernent la plupart du temps la prise de notes : « On faisait beaucoup d'hypothèses et jamais de conclusion ou très peu. » (5°5), le "ou très peu" modérant la critique. « Cette année il n'y a pas eu de cours vraiment précis, tout était plutôt basé sur les recherches qu'on avait fournies. Je n'aimais pas vraiment cette manière de fonctionner. » (3°2).

Quelques élèves font état de leurs difficultés, ou de celles des autres :

« Celle de l'année dernière [la manière de faire classe] était plus facile. » (5°7).

« Les cours doivent être compris avant d'être appris. C'est plus dur pour ceux qui n'ont pas compris. Même si les hypothèses sont fausses le professeur nous laisse réfléchir jusqu'au bout et nous explique après pourquoi c'est faux. » (3°4).

« Il faudrait faire plus de cours écrit et moins de travail en groupe », « Je trouve les cours difficiles car on ne fait que des hypothèses » disent deux élèves (3°3) qui pourtant répondent "d'accord" aux items 4/ et 6/, de même qu'un élève qui déclare : « pas grand-chose est rentré dans ma tête cette année-ci. » (2de 4). Un autre, après avoir coché "oui" à « permet de mieux comprendre » (2B) conclut : « *je comprends rien à l'SVT !* » (5°7).

Ces questionnaires, par ailleurs remplis hors du cours de SVT, sont anonymes et les élèves savent qu'ils ne sont pas destinés à leur professeur.

« Avec M. Dartiguenave, c'est nous qui cherchons la solution. Or l'an dernier on nous donnait la réponse tout de suite. Je préfère développer ma capacité d'analyse et d'hypothèses. » (3°4).

« Dans ses cours on n'apprend pas par cœur, on comprend au fur et à mesure. » (3°4).

« L'année dernière la prof ne faisait pas d'hypothèse ni d'expérience (nous, la classe ou en groupe). Mon professeur de SVT de cette année me permet de mieux comprendre. » (3°4).

« C'est cool de pas apprendre par cœur il faut tout d'abord comprendre. » (3°4).

« Le professeur nous laisse faire le cours. » (3°4).

« La manière du professeur est mieux que l'année dernière, je trouve qu'on cherche plus. » (3°4).

« Nous n'avions pas un cours normal et nous devons chercher pour trouver. » (3°7).

« Le but recherché par notre professeur est totalement LA COMPRÉHENSION alors que les autres années, seulement du par cœur. » (3°4).

« On propose beaucoup d'hypothèses, on travaille en groupes, on peut beaucoup s'exprimer et c'est bien. » (3°4).

« Les autres années on nous dictait le cours, mais on ne nous faisait pas chercher » (3°2).

« On a plus recherché par nous-mêmes en faisant des hypothèses » (3°2).

« C'est beaucoup mieux qu'un cours qui nous soûle en passant l'heure à l'écrire. » (3°2).

« On travaille souvent en groupes avant de mettre en commun, ensuite le professeur nous montre l'expérience que nous avons trouvée et nous déduisons ensemble la solution. » C'est cet élève qui poursuit par : « Quelquefois c'est dur de s'imaginer, on pense cette question simple et logique alors qu'en fait on se trompe car la réponse est complexe. Mais cela permet de nous faire réfléchir. Le cours n'est pas clair, on mélange tout et ne sait plus quoi apprendre. » (3°2).

« On ne travaillait pas uniquement sur le livre, on cherchait des réponses et des questions nous-mêmes plutôt que recopier stupidement le livre sans même comprendre. De plus on utilisait un raisonnement scientifique et non pas un raisonnement de photocopieuse... » (3°5).

« C'est nous-mêmes qui faisons les cours dans le cahier. » (2de 8).

« L'année dernière on ne nous demandait pas notre avis. On écrivait et puis voilà. » (5°5).

« Il nous laisse d'abord chercher des hypothèses et comment les tester. » (3°3).

« On explique, on fait des hypothèses, des tests pour comprendre... Cette année, les cours de SVT sont mieux, vivants, plus faciles (pour comprendre) » (5°3).

« Quand on doit chercher les hypothèses, cela nous aide dans plusieurs matières (physique, maths). » (5°1).

## 4.2. Analyse des réponses aux tests

### 4.2.1. Résultats globaux

Le tableau suivant présente de manière synoptique les résultats aux tests effectués, indiquant par classe et par test le sens de variation observé (données chiffrées précises indiquées ultérieurement) :

| TESTS ① à ⑥                                  |     |                                      |  |     |     |     |     |      |
|--|-----|--------------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|------|
| ☆ = variation prononcée dans le sens attendu |     |                                      | ⊕ = stabilité ou variation non significative (5% ou moins) |     |     |     |     |      |
| ★ = faible variation dans le sens attendu    |     |                                      | ↓ = variation > 5% dans le sens contraire                  |     |     |     |     |      |
| TESTS  |     | CLASSES →                            | 5°2  | 5°7 | 3°3 | 3°4 | 2°4 | 2°12 |
| ① Plantes                                    | ①.① | Pertinence des Hypothèses            | ☆  | ☆   | ☆   | ☆   | ☆   | ★    |
|  | ①.② | Nombre d'hypothèses                  | ☆  | ☆   | ⊕   | ☆   | ☆   | ☆    |
|  | ①.③ | Pertinence des tests                 | ⊕  | ☆   | ☆   | ☆   | ☆   | ⊕    |
| ② Lune                                       | ②.① | Recours justifié à l'expérience      | ☆  | ☆   | ☆   | ☆   | ⊕   | ⊕    |
|  | ②.② | Rejet de l'“effet Lune”              | ⊕  | ⊕   | ☆   | ☆   | ☆   | ☆    |
| ③ Parking                                    | ③   | Recours à un contrôle                | ⊕  | ☆   | ☆   | ☆   | ☆   | ⊕    |
| ④ Volcans                                    | ④.① | Modèle non probant                   | ⊕  | ⊕   | ⊕   | ⊕   | ☆   | ⊕    |
| ④bis UV                                      | ④.② | Modèle non probant                   | ☆  | ⊕   | ⊕   | ⊕   | ⊕   | ⊕    |
| ⑤ Doutes                                     | ⑤.① | Réponses sans savoir                 | ★  | ⊕   | ⊕   | ⊕   | ⊕   | ⊕    |
|  | ⑤.② | Utilisation de “je ne sais pas”      | ★  | ★   | ⊕   | ↓   | ⊕   | ⊕    |
| ⑥ Étapes de la démarche d'un chercheur       | ⑥.① | Problème                             | ☆  | ☆   | ☆   | ☆   | ☆   | ⊕    |
|  |     | Exp, obs ou infos, sans hypothèse(s) | ☆  | ☆   | ⊕   | ☆   | ⊕   | ☆    |
|  | ⑥.② | Démarche par test d'hypothèse(s)     | ☆  | ☆   | ☆   | ☆   | ☆   | ☆    |
|  | ⑥.③ | Non linéarité                        | ⊕  | ⊕   | ⊕   | ⊕   | ⊕   | ☆    |

Tableau IV. Synthèse synoptique des résultats aux tests

## 4.2.2. Résultats relatifs aux critères retenus

Les critères **C1** à **C9**, retenus comme indicateurs de l'esprit scientifique et critique des élèves (partie 3.1.2.) et reproduits ci-dessous, sont utilisés pour l'analyse des résultats :

| Premier esprit scientifique - <b>ÉLAN ET ESPRIT CRÉATIF</b>        |  |
|--|--|
| <b>C1</b>  | Aisance à <b>proposer plusieurs hypothèses</b> alternatives  |
| <b>C2</b>  | Capacité à <b>élaborer</b> des hypothèses <b>recevables</b> (explicatives)   |
| <b>C3</b>  | Habilité à <b>concevoir des tests</b> appropriés (si... alors)   |
| Second esprit scientifique - <b>ESPRIT DE DOUTE ET DE CONTRÔLE</b> |  |
| <b>C4</b>  | <b>Choix</b> d'un <b>contrôle expérimental</b> pour une affirmation douteuse, dans le domaine scientifique                             |
| <b>C5</b>  | <b>Proposition spontanée</b> d'un <b>contrôle expérimental</b> pour une affirmation douteuse autoritaire, hors du domaine scientifique |
| <b>C6</b>  | <b>Résistance</b> à la présentation d'un <b>modèle expérimental</b> en guise de " <b>preuve</b> ", dans le domaine scientifique        |
| <b>C7</b>  | <b>Résistance</b> à la présentation d'un <b>modèle expérimental</b> en guise de " <b>preuve</b> ", hors du domaine scientifique        |
| <b>C8</b>  | Extension du doute aux <b>certitudes spontanées</b> ; diminution des affirmations sans savoir  |
| Articulation des deux esprits scientifiques                        |  |
| <b>C9</b>  | Évolution des idées sur le cheminement des chercheurs scientifiques  |

### 4.2.2.1. Premier esprit scientifique : maniement du "jeu des possibles" (C1-C3)

Les critères C1 à C3 sont en jeu dans le test n°1, qui porte sur un problème non étudié en classe (les causes possibles de la répartition d'êtres vivants dans des lieux différents). Ce problème figure cependant au programme de la classe de Sixième, qui mentionne des explications alternatives : les élèves des deux classes de Cinquième étaient donc susceptibles d'utiliser leurs connaissances fraîches pour le pré-test (« *la répartition des êtres vivants varie en fonction de causes locales : par exemple, la présence d'un sol, la présence d'eau, selon l'exposition (...). La répartition peut aussi dépendre de l'action de l'Homme* »), et moins pour le post-test.

Leurs résultats relativement au nombre et à la variété des hypothèses, ainsi que ceux des quatre autres classes, sont présentés dans les tableaux des deux pages suivantes, et analysés ensuite :

| <b>TEST ① PLANTES 5°2</b>                             |                | <b>Pré-test</b>          |    |     |   |   | <b>Post-test</b>            |   |      |   |   |   |   |
|---|----------------|--------------------------|----|-----|---|---|-----------------------------|---|------|---|---|---|---|
| Variété d'hypothèses par élève                        | Nombre d'H →   | 0                        | 1  | 2   | 3 | 4 | 5                           | 0 | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   | Élèves →       | 3                        | 15 | 4   | 0 | 1 | 0                           | 1 | 11   | 7 | 1 | 1 | 0 |
| Nombre total d'hypothèses dans la classe (H x élèves) |                | 15+8+4<br>27 H/23 élèves |    |     |   |   | 11+14+3+4<br>32 H/21 élèves |   |      |   |   |   |   |
|   |                | 27/23 → +30% → 32/21     |    |     |   |   |                             |   |      |   |   |   |   |
| Pyramide des hypothèses                               | Plus de 2 H :  | 1/23                     |    | 4%  |   |   | 2/21                        |   | 9,5% |   |   |   |   |
|   | Plus d'1H :    | 5/23                     |    | 22% |   |   | 9/21                        |   | 43%  |   |   |   |   |
|   | Au moins 1 H : | 20/23                    |    | 87% |   |   | 20/21                       |   | 95%  |   |   |   |   |

| <b>TEST ① PLANTES 5°7</b>                             |                | <b>Pré-test</b>          |    |     |   |   | <b>Post-test</b>         |   |     |   |   |   |   |
|---|----------------|--------------------------|----|-----|---|---|--------------------------|---|-----|---|---|---|---|
| Variété d'hypothèses par élève                        | Nombre d'H →   | 0                        | 1  | 2   | 3 | 4 | 5                        | 0 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   | Élèves →       | 5                        | 15 | 4   | 1 | 0 | 0                        | 1 | 14  | 4 | 1 | 0 | 0 |
| Nombre total d'hypothèses dans la classe (H x élèves) |                | 15+8+3<br>26 H/26 élèves |    |     |   |   | 14+8+3<br>25 H/20 élèves |   |     |   |   |   |   |
|   |                | 26/26 → +25% → 25/20     |    |     |   |   |                          |   |     |   |   |   |   |
| Pyramide des hypothèses                               | Plus de 2 H :  | 1/26                     |    | 4%  |   |   | 1/20                     |   | 5%  |   |   |   |   |
|   | Plus d'1H :    | 5/26                     |    | 19% |   |   | 5/20                     |   | 25% |   |   |   |   |
|   | Au moins 1 H : | 21/26                    |    | 81% |   |   | 19/20                    |   | 95% |   |   |   |   |

| <b>TEST ① PLANTES 3°3</b>                             |                | <b>Pré-test</b>          |    |      |   |   | <b>Post-test</b>       |   |       |   |   |   |   |
|---|----------------|--------------------------|----|------|---|---|------------------------|---|-------|---|---|---|---|
| Variété d'hypothèses par élève                        | Nombre d'H →   | 0                        | 1  | 2    | 3 | 4 | 5                      | 0 | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   | Élèves →       | 3                        | 12 | 4    | 0 | 0 | 1                      | 2 | 10    | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Nombre total d'hypothèses dans la classe (H x élèves) |                | 12+8+5<br>25 H/22 élèves |    |      |   |   | 10+8<br>18 H/16 élèves |   |       |   |   |   |   |
|   |                | 25/22 → -1% → 18/16      |    |      |   |   |                        |   |       |   |   |   |   |
| Pyramide des hypothèses                               | Plus de 2 H :  | 1/22                     |    | 4,5% |   |   | 0/16                   |   | 0%    |   |   |   |   |
|   | Plus d'1H :    | 5/22                     |    | 23%  |   |   | 4/16                   |   | 25%   |   |   |   |   |
|   | Au moins 1 H : | 19/22                    |    | 86%  |   |   | 14/16                  |   | 87,5% |   |   |   |   |

| <b>TEST ① PLANTES 3°4</b>                             |                | <b>Pré-test</b>            |    |     |   |   | <b>Post-test</b>          |   |     |   |   |   |   |
|---|----------------|----------------------------|----|-----|---|---|---------------------------|---|-----|---|---|---|---|
| Variété d'hypothèses par élève                        | Nombre d'H →   | 0                          | 1  | 2   | 3 | 4 | 5                         | 0 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   | Élèves →       | 4                          | 12 | 5   | 4 | 0 | 0                         | 1 | 13  | 4 | 4 | 0 | 0 |
| Nombre total d'hypothèses dans la classe (H x élèves) |                | 12+10+12<br>34 H/25 élèves |    |     |   |   | 14+8+12<br>34 H/22 élèves |   |     |   |   |   |   |
|   |                | 34/25 → +14% → 34/22       |    |     |   |   |                           |   |     |   |   |   |   |
| Pyramide des hypothèses                               | Plus de 2 H :  | 4/25                       |    | 16% |   |   | 4/22                      |   | 18% |   |   |   |   |
|   | Plus d'1H :    | 9/25                       |    | 36% |   |   | 8/22                      |   | 26% |   |   |   |   |
|   | Au moins 1 H : | 21/25                      |    | 84% |   |   | 21/22                     |   | 95% |   |   |   |   |

| <b>TEST ① PLANTES 2de 4</b>                           |                | <b>Pré-test</b>          |   |     |   |   | <b>Post-test</b>          |   |      |   |   |   |   |
|---|----------------|--------------------------|---|-----|---|---|---------------------------|---|------|---|---|---|---|
| Variété d'hypothèses par élève                        | Nombre d'H →   | 0                        | 1 | 2   | 3 | 4 | 5                         | 0 | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   | Élèves →       | 5                        | 8 | 7   | 3 | 0 | 0                         | 0 | 6    | 9 | 4 | 0 | 0 |
| Nombre total d'hypothèses dans la classe (H x élèves) |                | 9+14+9<br>31 H/23 élèves |   |     |   |   | 6+18+12<br>36 H/19 élèves |   |      |   |   |   |   |
|   |                | 31/23 → +41% → 36/19     |   |     |   |   |                           |   |      |   |   |   |   |
| Pyramide des hypothèses                               | Plus de 2 H :  | 3/23                     |   | 13% |   |   | 4/19                      |   | 21%  |   |   |   |   |
|   | Plus d'1H :    | 10/23                    |   | 43% |   |   | 13/19                     |   | 68%  |   |   |   |   |
|   | Au moins 1 H : | 18/23                    |   | 78% |   |   | 19/19                     |   | 100% |   |   |   |   |

| <b>TEST ① PLANTES 2de 12</b>                          |                | <b>Pré-test</b>            |    |     |   |   | <b>Post-test</b>         |   |     |   |   |   |   |
|---|----------------|----------------------------|----|-----|---|---|--------------------------|---|-----|---|---|---|---|
| Variété d'hypothèses par élève                        | Nombre d'H →   | 0                          | 1  | 2   | 3 | 4 | 5                        | 0 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   | Élèves →       | 3                          | 12 | 8   | 5 | 0 | 0                        | 1 | 7   | 4 | 4 | 0 | 0 |
| Nombre total d'hypothèses dans la classe (H x élèves) |                | 12+16+15<br>43 H/28 élèves |    |     |   |   | 7+8+12<br>36 H/16 élèves |   |     |   |   |   |   |
|   |                | 43/28 → +47% → 36/16       |    |     |   |   |                          |   |     |   |   |   |   |
| Pyramide des hypothèses                               | Plus de 2 H :  | 5/28                       |    | 18% |   |   | 4/16                     |   | 25% |   |   |   |   |
|   | Plus d'1H :    | 13/28                      |    | 46% |   |   | 8/16                     |   | 50% |   |   |   |   |
|   | Au moins 1 H : | 25/28                      |    | 89% |   |   | 15/16                    |   | 94% |   |   |   |   |

### C1 - Aisance à proposer plusieurs hypothèses **alternatives**

Un indice  $i$  permet de représenter le “taux” d’hypothèses dans une classe :  $i = 1$  signifie une moyenne d’une hypothèse par élève.

| <b>TEST n°1 - Plantes</b>                                       |       |            |       |            |       |             |       |            |       |            |       |            |                    |             |
|---|-------|------------|-------|------------|-------|-------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|--------------------|-------------|
| H/e = nombre d’hypothèses / nombre d’élèves                     |       |            |       |            |       |             |       |            |       |            |       |            |                    |             |
| Indice $i$ = division H/e = nombre moyen d’hypothèses par élève |       |            |       |            |       |             |       |            |       |            |       |            |                    |             |
|   | 5°2   |            | 5°7   |            | 3°3   |             | 3°4   |            | 2°4   |            | 2°12  |            | Total              |             |
|   | H/e   | indice     | H/e   | indice     | H/e   | indice      | H/e   | indice     | H/e   | indice     | H/e   | indice     | H/e                | indice      |
| Pré-test n°1  | 27/23 | $i = 1,17$ | 26/26 | $i = 1,00$ | 25/22 | $i = 1,13$  | 34/25 | $i = 1,36$ | 31/23 | $i = 1,35$ | 43/28 | $i = 1,54$ | 186/147            | $i = 1,265$ |
| Post-test n°1   | 32/21 | $i = 1,52$ | 25/22 | $i = 1,25$ | 18/16 | $i = 1,112$ | 34/22 | $i = 1,54$ | 36/19 | $i = 1,89$ | 36/16 | $i = 2,25$ | 181/116            | $i = 1,560$ |
| Variation du nombre total d’hypothèses par classe :             |       |            |       |            |       |             |       |            |       |            |       |            | Pour les 6 classes |             |
|   | +30%  |            | +25%  |            | -1%   |             | +14%  |            | +41%  |            | +47%  |            | <b>+23%</b>        |             |

Tableau V. Nombre d’hypothèses par élève et par classe – Test n°1

La figure 13 représente le nombre moyen d’hypothèse par élève pour chaque classe :

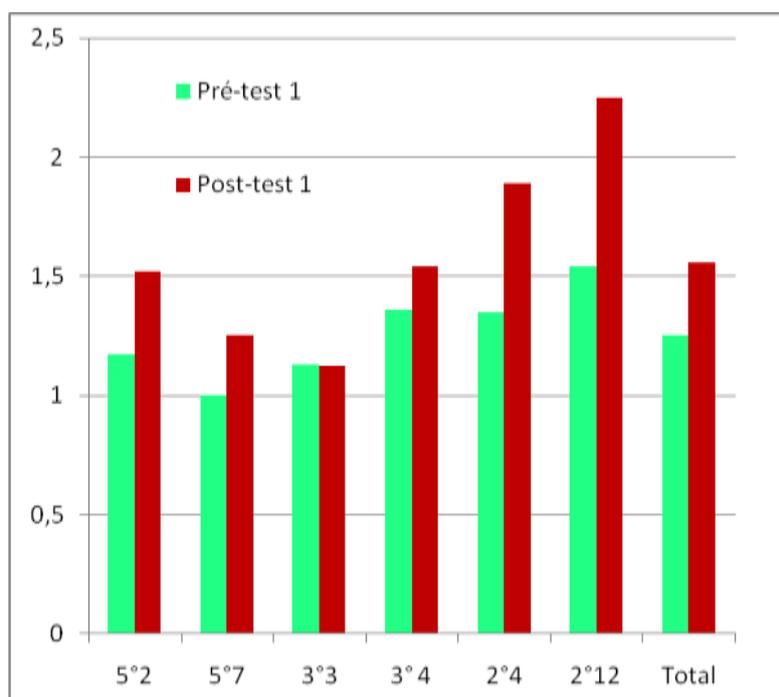


Figure 13. Nombre d’hypothèses par élève et par classe – Test n°1

Les élèves, sur le même problème et sans que celui-ci ait fait l’objet d’une étude en cours d’année, font davantage d’hypothèses lors du post-test (à l’exception de la 3°3 où il n’y a pas de variation). Sur l’ensemble des six classes, on obtient en post-test une augmentation du nombre d’hypothèses émises de près d’un quart (+23%, tableau V).

Davantage d’élèves émettent des hypothèses, puisque 15% s’en abstenaient en pré-test et qu’ils ne sont plus que 5% lors du post-test :

| Élèves n'émettant aucune hypothèse |      |      |      |      |      |      | Totaux      |     |                        |     |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------------|-----|------------------------|-----|
|                                    | 5°2  | 5°7  | 3°3  | 3°4  | 2°4  | 2°12 | 0 hypothèse |     | Au moins une hypothèse |     |
| Pré-test                           | 3/23 | 5/26 | 3/22 | 4/25 | 5/23 | 3/28 | 23/147      | 16% | 124/147                | 84% |
| Post-test                          | 1/21 | 1/20 | 2/16 | 1/22 | 0/19 | 1/16 | 6/116       | 5%  | 110/116                | 95% |

Et d'une manière générale, davantage d'élèves émettent *plusieurs* hypothèses :

|                | 5°2     | 5°7     | 3°3       | 3°4     | 2°4      | 2°12    |
|----------------|---------|---------|-----------|---------|----------|---------|
| Plus de 2 H :  | 4%→9,5% | 4%→5%   | 4,5%→0%   | 16%→18% | 13%→21%  | 18%→25% |
| Plus d'1H :    | 22%→43% | 19%→25% | 23%→25%   | 36%→26% | 43%→68%  | 46%→50% |
| Au moins 1 H : | 87%→95% | 81%→95% | 86%→87,5% | 84%→95% | 78%→100% | 89%→94% |

Les "pyramides à degrés" ci-dessous visualisent les proportions **cumulées** d'élèves proposant au moins une hypothèse (premier étage), plus d'une hypothèse (deuxième étage) et plus de deux hypothèses (troisième étage) (un élève proposant trois hypothèses figure à chaque étage).

Un intervalle représente 20% d'élève (légende en haut du graphique) : ainsi par exemple voit-on que les élèves de 5°7 sont, en pré-test, environ 80% à formuler au moins une hypothèse, 20% en formulent plus d'une (deuxième étage) et quelques %, plus de deux. Chacun de ces trois étages s'élève en post-test :

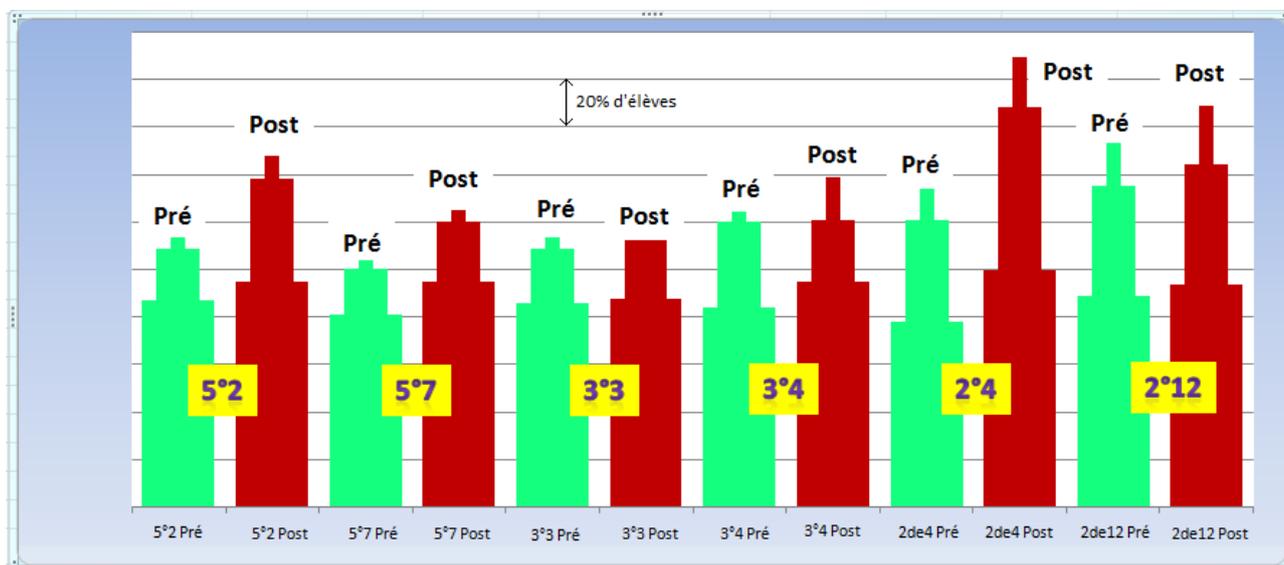


Figure 14. Pyramides des hypothèses – Test n°1

## C2 - Capacité à élaborer des hypothèses recevables

La pertinence de ces hypothèses par rapport au problème soulevé (répartition des plantes) est estimée en fonction de leur caractère explicatif : les explications causales sont séparées des simples citations d'un ou de plusieurs facteur(s) quelconque(s). Ainsi citer "le vent" ou "la température" ne possède pas ce caractère, que présentent par contre des hypothèses comme « en montagne, le vent empêche la croissance de certaines plantes » ou « certains végétaux ont besoin des températures plus élevées des vallées pour subsister ».

| TEST n°1 - Plantes  |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |       |        |     |
|---|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-------|--------|-----|
| Nombre d'hypothèses ayant un <b>caractère explicatif</b> , par classe |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |       |        |     |
| ①   | 5°2   |     | 5°7   |     | 3°3   |     | 3°4   |     | 2°4   |     | 2°12  |       | Total  |     |
| Pré-test n°1  | 14/23 | 61% | 9/26  | 35% | 10/22 | 45% | 12/25 | 48% | 8/23  | 35% | 16/28 | 57%   | 69/147 | 47% |
| Post-test n°1   | 15/21 | 71% | 14/20 | 70% | 11/16 | 69% | 17/22 | 77% | 11/19 | 58% | 10/16 | 62,5% | 78/114 | 68% |

Tableau VI. Caractère explicatif des hypothèses – Test n°1

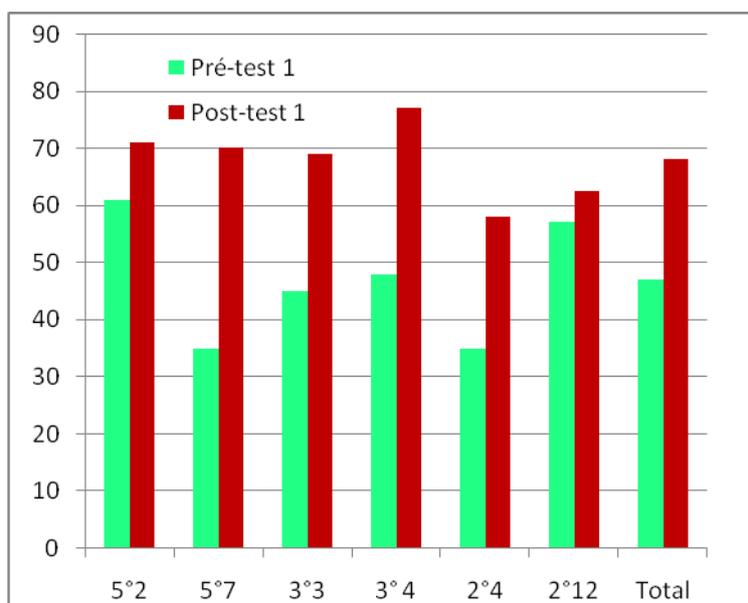


Figure 15. Nombre d'hypothèses explicatives par classe

## C3 Habileté à concevoir des tests appropriés

Lorsqu'on demande aux élèves quels moyens on pourrait mettre en œuvre pour savoir si la cause proposée (ou l'une des causes proposées) est bien celle qui explique la différence de répartition, les réponses peuvent être classées en quatre groupes :

- un groupe d'expérimentateurs authentiques, proposent des tests probants, tel l'action sur la plante du facteur auquel on soupçonne qu'elle ne résiste pas (le vent ou le froid...) à l'exception de toute autre modification ;
- un groupe fourni de "pépiniéristes", élèves déplantant et replantant les plantes pour une simple translocation : placer les végétaux de montagne en plaine et vice-versa, ce qui ne permet pas de connaître le ou les facteur(s) en cause. Une variante consiste à proposer de recréer en laboratoire toutes les conditions du milieu où la plante ne pousse pas (ou ne subsiste pas) et de l'y placer, sorte de "translocation *in vitro*" ;
- un groupe plus restreint de "météorologistes", élèves qui proposent des mesures *in situ* des conditions : ils veulent vérifier s'il fait bien froid en montagne ou s'il y a du vent ;

- d'autres réponses non valables, diverses, sont regroupées dans une dernière catégorie (tests inopérants, sans lien avec l'hypothèse...).

Ces catégories se répartissent ainsi :

| TEST n°1 - Plantes                              |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      | Totaux |        |        |       |
|---|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|--------|--------|--------|-------|
| Pertinence des tests proposés                   |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |        |        |        |       |
|   | 5°2 |      | 5°7 |      | 3°3 |      | 3°4 |      | 2°4 |      | 2°12 |      | Pré    | Post   |        |       |
|   | Pré | Post | Pré  | Post |        |        |        |       |
| Test probant net                                | 30% | 29%  | 4%  | 15%  | 9%  | 19%  | 4%  | 18%  | 9%  | 21%  | 14%  | 19%  | 17/147 | 11,5 % | 23/114 | 20 %  |
| Translocation <i>in vivo</i> ou <i>in vitro</i> | 13% | 29%  | 19% | 30%  | 23% | 44%  | 24% | 64%  | 22% | 26%  | 18%  | 44%  | 29/147 | 20%    | 45/114 | 40%   |
| Mesures dans le milieu                          | 4%  | 14%  | 0%  | 5%   | 9%  | 6%   | 16% | 0%   | 9%  | 5%   | 4%   | 0%   | 10/147 | 7%     | 6/114  | 5%    |
| Réponse non valable                             | 17% | 29%  | 50% | 15%  | 41% | 25%  | 48% | 14%  | 22% | 37%  | 43%  | 6%   | 55/147 | 37%    | 24/114 | 21%   |
| Pas de réponse                                  | 35% | 0%   | 27% | 35%  | 18% | 6%   | 8%  | 5%   | 39% | 11%  | 21%  | 31%  | 36/147 | 24,5%  | 16/114 | 14%   |
| Nb élèves                                       | 23  | 21   | 26  | 20   | 22  | 16   | 25  | 22   | 23  | 19   | 28   | 16   | 147    | 100 %  | 114    | 100 % |

Tableau VII. Pertinence des tests proposés – Test n°1

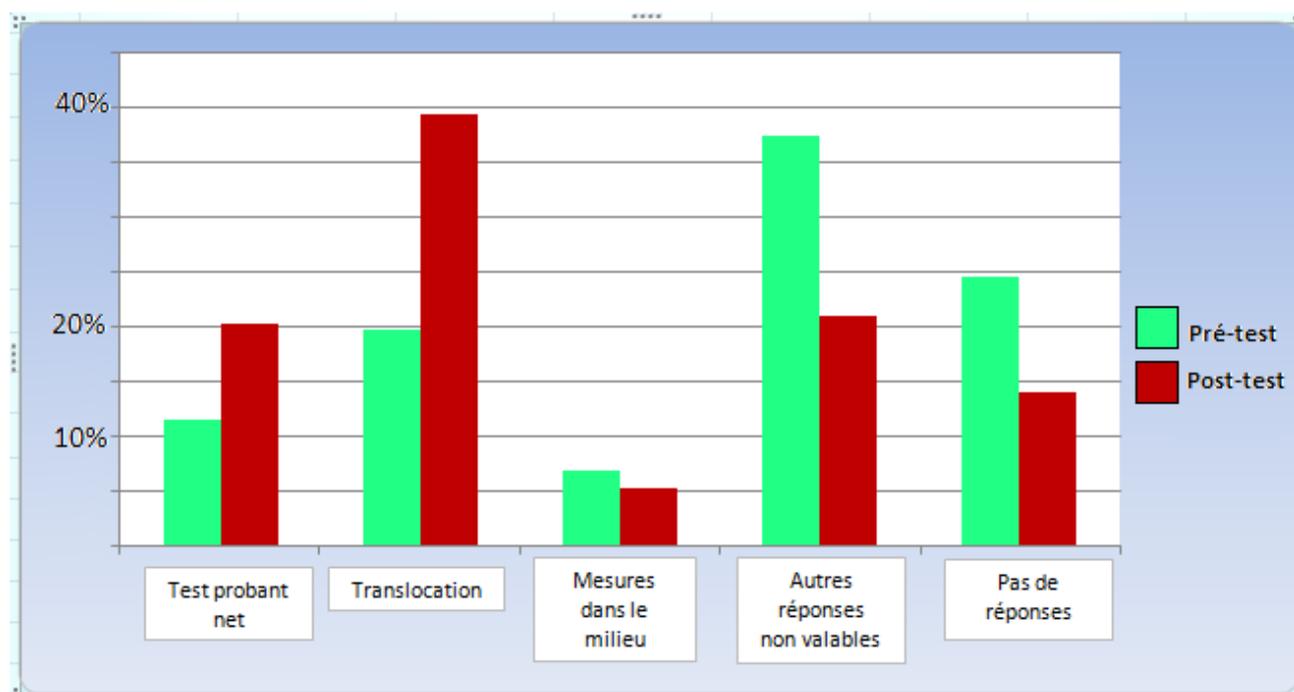


Figure 16. Tests d'hypothèses proposés, par catégorie - Test n°1

On voit progresser, et presque doubler, les propositions de tests probants. Dans le même temps les "pépiniéristes", qui étaient les plus nombreux en pré-test, ont vu leur effectif se renforcer grandement en post-test (de 20 à 40%), ce qui paraît traduire une avancée intermédiaire : l'idée de soumettre les plantes à des conditions mises en cause est présente, mais sans cependant distinguer entre les facteurs ou sans aboutir à autre chose qu'une mise en évidence.

Notons ici la particularité de la vingtaine d'élèves de la 5°2 : ils proposent dans leur classe des tests probants à hauteur de 30% dès le pré-test, niveau qu'ils conservent mais que n'atteint aucune des autres classes en post-test – la 5°7, comparable par l'âge et le nombre des élèves, enregistre sur ce

test des progrès qui ne lui font qu'atteindre la moitié du niveau de départ de la 5<sup>o</sup>, illustration de la nécessité de considérer, le plus souvent, l'évolution sensible, ou non, sur l'ensemble des classes.

L'enseignante de SVT de cette 5<sup>o</sup>, interrogée sur cette singularité, n'y voit pas de raison particulière, les ayant simplement trouvés en début d'année "plus demandeurs, plus curieux et plus entreprenants" que les élèves d'autres classes, sans être d'un niveau spécialement élevé.

#### 4.2.2.2. Second esprit scientifique : esprit de doute et de contrôle (C4-C8)

Les critères **C4** (choix d'un **contrôle expérimental** pour une affirmation douteuse **dans** le domaine scientifique) et **C5** (**proposition spontanée** d'un **contrôle expérimental** pour une affirmation douteuse autoritaire, **hors** du domaine scientifique), sont estimés à l'aide des tests n°2 et n°3 (effet supposé de la Lune sur une récolte, et du stationnement payant sur la circulation).

Dans ces deux cas aussi les classes présentent entre elles, vis-à-vis du recours à l'expérience, des différences en pré-test dont nous ignorons l'origine : la proportion d'élèves choisissant ce recours dans une liste d'attitudes dès le pré-test n°2 varie de 20 à 61%, celle d'élèves le concevant d'eux-mêmes dans le pré-test n°3, de 8 à 42% :

| <b>TEST n°2 – Lune : élèves choisissant et justifiant le recours à l'expérience</b> |      |                  |      |                  |      |                  |      |                  |      |                   |      |        |            |        |            |
|---|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|-------------------|------|--------|------------|--------|------------|
| 5 <sup>o</sup> 2  |      | 5 <sup>o</sup> 7 |      | 3 <sup>o</sup> 3 |      | 3 <sup>o</sup> 4 |      | 2 <sup>o</sup> 4 |      | 2 <sup>o</sup> 12 |      | Totaux |            |        |            |
| Pré   | Post | Pré              | Post | Pré              | Post | Pré              | Post | Pré              | Post | Pré               | Post | Pré    |            | Post   |            |
| 57%   | 64%  | 23%              | 65%  | 36%              | 76%  | 20%              | 68%  | 40%              | 37%  | 61%               | 56%  | 59/149 | <b>40%</b> | 73/121 | <b>60%</b> |
| <b>TEST n°3 – Parking : élèves demandant un contrôle expérimental</b>               |      |                  |      |                  |      |                  |      |                  |      |                   |      |        |            |        |            |
| 5 <sup>o</sup> 2  |      | 5 <sup>o</sup> 7 |      | 3 <sup>o</sup> 3 |      | 3 <sup>o</sup> 4 |      | 2 <sup>o</sup> 4 |      | 2 <sup>o</sup> 12 |      | Totaux |            |        |            |
| Pré   | Post | Pré              | Post | Pré              | Post | Pré              | Post | Pré              | Post | Pré               | Post | Pré    |            | Post   |            |
| 42%   | 38%  | 8%               | 40%  | 14%              | 31%  | 40%              | 68%  | 9%               | 42%  | 39%               | 44%  | 38/148 | <b>26%</b> | 51/114 | <b>45%</b> |

Tableau VIII. Recours à l'expérience – Tests n°2 et 3

En se référant aux totaux, le test n°2 montre un net accroissement entre pré- et post-test du nombre d'élèves (40 à 60%) qui préfèrent le recours à l'expérience aux arguments avancés dans les autres choix proposés, et justifient leur suffrage.

Le test n°3 permet d'estimer l'ampleur avec laquelle l'idée d'une mise à l'épreuve d'une affirmation peut être transposée hors du domaine des sciences : dans un secteur aussi éloigné que celui des problèmes de la circulation automobile, un quart des élèves des six classes testées, en moyenne, propose de s'en remettre à une expérience comparative (état de la circulation avec et sans stationnement payant). L'accroissement d'ensemble est net : de 26 à 45% d'élèves qui n'admettent pas telle quelle l'affirmation du maire de la ville, et ne se contentent pas non plus, comme cela est souvent proposé en pré-test, de suggérer un sondage d'opinion pour trancher.

Il y a une gradation de difficulté, concernant le recours à l'expérience, entre les tests n°2 et n°3 : alors que dans le n°2 il "suffit" d'en faire le choix dans une liste et pour une question scientifique (facteur de germination ou de croissance), il faut dans le n°3 y songer car rien ne le suggère, dans un domaine éloigné des sciences. Ce qui explique certainement l'écart entre les deux pré-tests (40 et 25%), mais nous pouvons cependant remarquer que l'accroissement observé est similaire (+20%). Il résulte du fait que dans les deux cas, davantage d'élèves ne considèrent les affirmations péremptoires en cause que comme des hypothèses à contrôler par l'expérience.

**C6-C7- Résistance** à la présentation d'un **modèle expérimental** en guise de "preuve", dans le domaine scientifique ou en dehors

Ce critère représente un degré de difficulté plus important encore, puisqu'il provient de l'observation d'enseignants en classe prétendant *démontrer* des phénomènes naturels, tels les éruptions volcaniques (test n°4), à l'aide de modèles.

Le test 4 bis correspond, de son côté, à une expérience présentée sur le site de *La main à la pâte*, après l'hypothèse « En montagne, on a une épaisseur plus fine d'atmosphère au dessus de nous, donc on reçoit plus d'UV » : cette hypothèse « est bien sûr la bonne, et le modèle va permettre d'en convaincre les élèves ». La manipulation, qui porte sur des lames de verre et non sur l'air, se termine, après avoir juste mentionné « l'analogie avec l'atmosphère », par : « **Conclusion** - L'atmosphère agit comme un filtre. Plus la couche traversée est fine, plus la lumière que l'on reçoit contient d'UV. »<sup>364</sup> :

Les élèves placent 3 morceaux de papier-UV comme le montre le schéma. En exposant l'ensemble au soleil pendant environ 30 minutes, on observe que le verre agit comme un filtre : il absorbe une partie des UV. Plus l'épaisseur de verre est grande, plus cette absorption est complète, et moins il reste d'UV « en sortie ». L'analogie avec l'atmosphère se fait alors naturellement.

3 - Conclusion  
L'atmosphère agit comme un filtre. Plus la couche traversée est fine, plus la lumière que l'on reçoit contient d'UV. C'est ce qui se passe lorsque le Soleil est haut dans le ciel (midi solaire, été, faible latitude) ou lorsqu'on est en altitude (montagne).

Dernière modification : 15/04/2005  
© La Main à la pâte 2006

Notons que le choix du verre résulte de cette demande aux élèves : « Connaissez-vous une matière, facile à manipuler, qui soit transparente et qui filtre un peu les UV ? Les réponses viendront assez facilement : « de l'eau », « une vitre », « de l'air dans une boîte transparente », etc. ».

Pour l'enseignant, les élèves *connaissent* donc déjà ce rôle de l'air, en boîte ou non (une conclusion de la séance précédente était d'ailleurs « En montagne, on reçoit plus d'UV car la couche d'atmosphère au-dessus de nous est plus fine »), et *connaissent* aussi ce rôle du verre : sachant que le verre « filtre un peu les UV », ils vérifient que le verre filtre un peu les UV, et concluent sur l'atmosphère.

Le glissement sans grandes réserves du modèle au réel est fréquent : en montrant, on pense démontrer. Bien que nous demandions dans le mode d'emploi de notre outil de faire réfléchir les élèves à la pertinence des tests proposés, la barre est placée haut avec les tests 4 et 4 bis : nous souhaitons là en explorer les limites.

<sup>364</sup> [http://lamap.inrp.fr/?Page\\_Id=5&Element\\_Id=917](http://lamap.inrp.fr/?Page_Id=5&Element_Id=917)

| <b>TEST n°4 – Volcans : élèves refusant ou admettant la présentation d'un modèle expérimental en guise de preuve dans le contexte de l'enseignement des sciences</b><br>Modèle mimant les éruptions volcaniques |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |      |       |         |            |        |            |
|---|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|-------|---------|------------|--------|------------|
|   | 5°2 |      | 5°7 |      | 3°3 |      | 3°4 |      | 2°4 |      | 2°12 |       | Totaux  |            |        |            |
|   | Pré | Post | Pré  | Post  | Pré     |            | Post   |            |
| Refus   | 5%  | 5%   | 4%  | 0%   | 9%  | 6%   | 4%  | 9%   | 9%  | 21%  | 11%  | 12,5% | 11/144  | <b>8%</b>  | 10/115 | <b>9%</b>  |
| Acceptation   | 80% | 77%  | 77% | 95%  | 77% | 94%  | 84% | 73%  | 70% | 79%  | 75%  | 50%   | 111/144 | <b>77%</b> | 90/115 | <b>78%</b> |

**Tableau IX. Adhésion au modèle mimant les éruptions volcaniques – Test n°4**

Aucune différence significative, cette fois, n'apparaît entre le pré-test n°4 et le post-test n°4 (tableau IX) : 77%, puis 78% des élèves adhèrent au modèle en tant que preuve. Mais le post-test n°4 bis, passé par les mêmes élèves à la même époque, mais en séance d'histoire-géographie et non de SVT, et sur un sujet, la "protection solaire", sans rapport avec les programmes de sciences, montre une adhésion moins massive au modèle (tableau X) : non plus 78%, mais 61% :

| <b>POST-TEST n°4 bis – UV : élèves refusant ou admettant la présentation d'un modèle expérimental en guise de preuve hors du contexte de l'enseignement des sciences</b><br>Modèle : lames de verre se substituant à l'atmosphère |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |       |      |        |            |      |  |
|---|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-------|------|--------|------------|------|--|
|   | 5°2 |      | 5°7 |      | 3°3 |      | 3°4 |      | 2°4 |      | 2°12  |      | Totaux |            |      |  |
|   | Pré | Post | Pré   | Post | Pré    |            | Post |  |
| Refus   | 15% |      | 8%  |      | 12% |      | 8%  |      | 9%  |      | 12,5% |      | 14/135 | <b>10%</b> |      |  |
| Acceptation   | 55% |      | 69% |      | 65% |      | 56% |      | 82% |      | 25%   |      | 82/135 | <b>61%</b> |      |  |

**Tableau X. Adhésion à l'atmosphère de verre – Test n°4bis**

Il semble, en comparant ces deux résultats, qu'il soit très difficile aux élèves de rejeter une conclusion lorsqu'elle est présentée avec l'appui d'un modèle accompagné d'une manipulation, si on est en cours de sciences, ce refus semblant un peu moins difficile hors de ce contexte. Cette limite ayant été détectée jusqu'en classe de Seconde, nous avons tenté de déterminer ce qu'il en était avec quatre classes de 1°S que nous pouvions comparer deux à deux sur ce test. Les deux premières l'ont passé à la fin d'une année pendant laquelle leurs enseignants n'avaient pas utilisé notre outil (au cours de la phase préliminaire), les autres en pré- et post-tests encadrant l'enseignement préconisé (tableau XI).

| <b>TESTS n°4 et 4bis en 1°S : élèves refusant ou admettant la présentation d'un modèle expérimental en guise de preuve</b> |                               |                                   |                      |                               |                |                 |                                       |                  |                 |                     |                  |                  |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------|-----------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|------------------|------------------|
|  | 1°S1/S2<br>Racine<br>(75008)  | 1°S3<br>La<br>Fontaine<br>(75016) | 1°S1/S2<br>+<br>1°S3 | 1°S2a<br>Carnot<br>(75017)    |                |                 | 1°S2b<br>Berthelot, Pantin<br>(93500) |                  |                 | 1°S2a<br>+<br>1°S2b |                  |                  |
|  |                               |                                   |                      | Pré 4                         | Post 4         | Post 4bis<br>UV | Pré 4                                 | Post 4           | Post 4bis<br>UV | Pré 4               | Post 4           | Post 4bis<br>UV  |
|  | Test 4 - Volcans<br>Juin 2006 |                                   |                      | Sept.<br>2006                 | Juin<br>2007   | Juin<br>2007    | Nov.<br>2006                          | Mai<br>2007      | Mai<br>2007     |                     |                  |                  |
|  | Année sans<br>outil DiPHTeRIC |                                   |                      | Année avec<br>outil DiPHTeRIC |                |                 |                                       |                  |                 |                     |                  |                  |
|  | 4                             | 7                                 | 11                   | 7                             | 12             | 11              | 3                                     | 6                | 5               | 10                  | 18               | 16               |
| Refus  | <b>17%</b>                    | <b>25%</b>                        | <b>21%</b>           | <b>21%</b>                    | <b>48%</b>     | <b>44%</b>      | <b>11%</b>                            | <b>20%</b>       | <b>16%</b>      | <b>15%</b>          | <b>33%</b>       | <b>29%</b>       |
|  | 17                            | 19                                | 36                   | 22                            | 12             | 12              | 21                                    | 13               | 17              | 43                  | 25               | 29               |
| Acceptation  | <b>71%</b>                    | <b>68%</b>                        | <b>69%</b>           | <b>67%</b>                    | <b>48%</b>     | <b>48%</b>      | <b>75%</b>                            | <b>43%</b>       | <b>55%</b>      | <b>67%</b>          | <b>45%</b>       | <b>52%</b>       |
| Réponse non<br>valable   | 3<br><b>12,5%</b>             | 2<br><b>7%</b>                    | 5<br><b>10%</b>      | 4<br><b>12%</b>               | 1<br><b>4%</b> | 1<br><b>4%</b>  | 4<br><b>14%</b>                       | 11<br><b>37%</b> | 9<br><b>29%</b> | 8<br><b>12,5%</b>   | 12<br><b>22%</b> | 10<br><b>18%</b> |
| Pas de<br>réponse  | 0<br><b>0%</b>                | 0<br><b>0%</b>                    | 0<br><b>0%</b>       | 0<br><b>0%</b>                | 0<br><b>0%</b> | 1<br><b>4%</b>  | 0<br><b>0%</b>                        | 0<br><b>0%</b>   | 0<br><b>0%</b>  | 0<br><b>0%</b>      | 0<br><b>0%</b>   | 1<br><b>2%</b>   |
| Nombre<br>d'élèves   | 24                            | 28                                | 52                   | 33                            | 25             | 25              | 28                                    | 30               | 31              | 64                  | 55               | 56               |

Tableau XI. Résultats en classe de Première Scientifique – Tests n°4 et n°4bis

Les élèves de 1°S ayant passé le test n°4 (volcans) en juin 2006, à l'issue d'une année d'enseignement classique, présentent un taux d'adhésion au modèle d'environ 70%. C'est à peu près le taux que nous trouvons en début d'année dans les deux autres classes (et même 75% en 1°S2b). Mais à l'issue d'une année d'enseignement utilisant l'outil DiPHTeRIC, ce taux d'adhésion a baissé (45% en post-test n°4 et 52% en post-test n°4bis), tandis que les partisans de "refus" sont passés de 15% en pré-test à quelque 30% pour les deux post-tests.

Il ne s'agit là que de tendances apparentes, qui suggèrent un dépassement en 1°S de la limite atteinte en Seconde, que seuls des travaux ultérieurs pourraient, ou non, corroborer.

### C8- Mise en cause par l'élève de ses **certitudes** spontanées

Le test n°5 permet de repérer la tendance des élèves à affirmer sans savoir, et leur évolution éventuelle en ce qui concerne le doute.

**Réponses sans savoir** : sont comptabilisées les réponses “je suis sûr que oui” appliquées à quelque chose de faux (comme *dans le ventre de sa mère, le bébé avale du lait*) et les réponses “je suis sûr que non” appliquées à quelque chose de juste (comme *ce qu'on digère se retrouve en partie dans le sang*). Il y a 10 affirmations, il pourrait donc y avoir sur une classe de n élèves, si chacun affirmait sans savoir à chaque fois, 10n “réponses sans savoir” : le pourcentage affiché est relatif à 10n, taux de certitude erronée absolu pour ce test.

L'utilisation de “**je ne sais pas**” est également relevée dans ce test. La propension à affirmer sans savoir, ou à s'en abstenir, de même que l'aveu de son ignorance peuvent évoluer avec l'utilisation de notre outil, dans lequel les affirmations sont confrontées, jaugées, testées. L'enseignement reçu dans l'année peut aussi jouer un rôle, et faire, c'est même son objectif majeur, que les élèves *sachent* davantage : dans un second temps, nous excluons les questions qui auraient pu faire en classe l'objet d'une étude, l'évolution ou non du doute et de la certitude ne portant alors que sur des sujets non vus entre pré et post-test.

Le tableau XII suivant résume l'extraction de ces données pour une classe : les encadrés dans les colonnes “sûr que oui” et “sûr que non” permettent de repérer les affirmations par les élèves de certitudes erronées. Le grisé dans la colonne de gauche indique les questions traitées dans l'année, soustraites des comptes dans les cases grisées de la partie droite.

| 5 - DOUTES 5°2 |                     |                      |      |  |      |             |      |                           |      |  |      |     |      | Réponses sans savoir : |      |     |      | Choix “je ne sais pas” sans “vu” |    |
|----------------|---------------------|----------------------|------|--|------|-------------|------|---------------------------|------|--|------|-----|------|------------------------|------|-----|------|----------------------------------|----|
| PRÉ-TEST : 25  |                     | Sûr que oui          |      | Probable   |      | Ne sais pas |      | Sûrement pas              |      | Sûr que non  |      | NSP |      |                        |      |     |      |                                  |    |
| POST-TEST : 23 |                     | pré                  | post | pré  | post | pré         | post | pré                       | post | pré  | post | pré | post | pré                    | post | pré | post |                                  |    |
| 1              | lait pour bébé      | 3                    | 1    | 5  | 4    | 1           | 1    | 3                         | 2    | 13   | 15   | 0   | 0    | 3                      | 1    | 3   | 1    | 1                                | 1  |
| 2              | dig → sang          | 12                   | 12   | 7  | 8    | 3           | 3    | 0                         | 0    | 3  | 0    | 0   | 0    | 3                      | 0    | 0   | 0    | 0                                | 0  |
| 3              | strates mer         | 7                    | 3    | 4  | 6    | 6           | 13   | 2                         | 0    | 3  | 0    | 3   | 1    | 3                      | 0    | 3   | 0    | 6                                | 13 |
| 4              | règles avec ovule   | 9                    | 10   | 3  | 4    | 4           | 5    | 2                         | 3    | 7  | 1    | 0   | 0    | 9                      | 10   | 9   | 10   | 4                                | 5  |
| 5              | gènes via sang      | 10                   | 7    | 3  | 4    | 4           | 8    | 2                         | 2    | 6  | 2    | 0   | 0    | 10                     | 7    | 10  | 7    | 4                                | 8  |
| 6              | sable ex roche dure | 8                    | 11   | 5  | 5    | 8           | 7    | 1                         | 0    | 3  | 0    | 0   | 0    | 3                      | 0    | 3   | 0    | 8                                | 7  |
| 7              | deux tuyaux         | 7                    | 6    | 3  | 2    | 5           | 3    | 3                         | 2    | 7  | 10   | 0   | 0    | 7                      | 6    | 0   | 0    | 0                                | 0  |
| 8              | cœur bat sans nerfs | 2                    | 2    | 2  | 3    | 4           | 7    | 4                         | 4    | 13   | 5    | 0   | 2    | 13                     | 5    | 13  | 5    | 4                                | 7  |
| 9              | cellules dans eau   | 3                    | 4    | 2  | 2    | 12          | 14   | 4                         | 1    | 4  | 1    | 1   | 0    | 3                      | 4    | 0   | 0    | 0                                | 0  |
| 10             | muscle sur 2 os     | 3                    | 6    | 6  | 6    | 7           | 3    | 4                         | 2    | 3  | 5    | 3   | 0    | 3                      | 5    | 3   | 5    | 7                                | 3  |
|                |                     |                      |      |  |      | 54          | 64   |                           |      |  |      |     |      | 57                     | 38   | 44  | 28   | 34                               | 44 |
| 5°2            |                     | Réponses sans savoir |      |  |      |             |      | Réponses “je ne sais pas” |      |  |      |     |      |                        |      |     |      |                                  |    |
|                |                     | Totales              |      | Sans comptabiliser les questions 2, 7 et 9 vues dans l'année |      |             |      | Totales                   |      | Sans comptabiliser les questions 2, 7 et 9 vues dans l'année |      |     |      |                        |      |     |      |                                  |    |
| PRÉ            |                     | 57 sur 250 = 23%     |      | 44 sur 175 = 25%   |      |             |      | 54 sur 250 = 22%          |      | 34 sur 175 = 19%   |      |     |      |                        |      |     |      |                                  |    |
| POST           |                     | 38 sur 230 = 16,5%   |      | 28 sur 161 = 17%   |      |             |      | 64 sur 230 = 28%          |      | 44 sur 161 = 27%   |      |     |      |                        |      |     |      |                                  |    |

Tableau XII. Doutes et certitudes –exemple d'une classe – Tests n°5

L'ensemble des résultats par classe est porté dans le tableau XIII, et pour les six classes, dans le tableau XIV.

| TEST n°5 – Doutes  |             |       |            |      |           |      |           |      |           |       |           |       |
|--|-------------|-------|------------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|-------|-----------|-------|
|  | 5°2         |       | 5°7        |      | 3°3       |      | 3°4       |      | 2°4       |       | 2°12      |       |
|  | Pré         | Post  | Pré        | Post | Pré       | Post | Pré       | Post | Pré       | Post  | Pré       | Post  |
| Réponses sans savoir   | 23%         | 16,5% | 17%        | 13%  | 17%       | 18 % | 18 %      | 18%  | 16%       | 19 %  | 13%       | 9%    |
|  | ★<br>- 6,5% |       | - 4 %      |      | - 1%      |      | =         |      | + 3%      |       | - 4%      |       |
| Réponses sans savoir, sans comptabiliser les questions vues dans l'année           | 25%         | 17%   | 21%        | 18%  | 16%       | 19%  | 18 %      | 15%  | 13%       | 15%   | 15%       | 8%    |
|  | ★<br>- 8%   |       | - 3%       |      | + 3%      |      | - 3%      |      | + 2 %     |       | ★<br>- 7% |       |
| Utilisation de "je ne sais pas"  | 22%         | 28%   | 32%        | 38%  | 24%       | 31%  | 31%       | 25%  | 13%       | 17,5% | 17,5%     | 17,5% |
|  | ★<br>+ 6%   |       | ★<br>+ 6%  |      | ★<br>+ 7% |      | ↓<br>- 6% |      | + 4,5%    |       | =         |       |
| Utilisation de "je ne sais pas" sans comptabiliser les questions vues dans l'année | 19%         | 27%   | 30%        | 40%  | 25%       | 33%  | 31%       | 25%  | 14%       | 20 %  | 16%       | 20%   |
|  | ★<br>+ 8%   |       | ★<br>+ 10% |      | ★<br>+ 8% |      | ↓<br>- 6% |      | ★<br>+ 6% |       | + 4%      |       |

Tableau XIII. Doutes et certitudes par classe – Tests n°5

Les évolutions sont peu sensibles : plusieurs variations se font dans le sens d'une circonspection accrue (★), mais d'autres ont lieu en sens inverse (↓). Une analyse globale des réponses dans les six classes donne les résultats suivants :

|      | Réponses sans savoir |      |  |      | Réponses "je ne sais pas" |      |  |      |
|------|----------------------|------|--|------|---------------------------|------|--|------|
|      | Totales              |      | Sans comptabiliser les questions vues dans l'année |      | Totales                   |      | Sans comptabiliser les questions vues dans l'année |      |
| PRÉ  | 251                  | 1470 | 180  | 1013 | 339                       | 1470 | 218  | 1013 |
|      | 17%                  |      | 18%  |      | 23%                       |      | 21,5%  |      |
| POST | 197                  | 1250 | 131  | 853  | 332                       | 1250 | 233  | 853  |
|      | 16%                  |      | 15%  |      | 26,5%                     |      | 27%  |      |

Tableau XIV. Doutes et certitudes pour les six classes – Tests n°5

Les "réponses sans savoir" ne varient pas d'une manière significative, quoique dans le sens attendu, mais la proportion de réponses "je ne sais pas" sur les questions non traitées au cours de l'année passe de 21,5 à 27,3% (soit +5,8%), ce qui peut traduire un gain en circonspection, mais l'écart demeure trop faible pour ne pas demeurer nous-mêmes, justement, dans la circonspection.

Nous avons vu précédemment les élèves progresser dans la remise en cause des affirmations *des autres* : le travail semble bien plus difficile vis-à-vis de leurs propres certitudes, même lorsqu'elles sont infondées, tant qu'elles ne font pas l'objet d'un examen spécifique. Le fait d'avoir avancé des propositions fausses et d'avoir dû reconnaître, en les suivant, leur caractère erroné, paraît avoir peu d'emprise sur leurs autres idées fausses, qui poursuivent leur règne sans "effet de contagion" apparent.

#### 4.2.2.3. Idées sur le cheminement des chercheurs scientifiques (C9)

Le tableau XV présente les réponses au test n°6, qui demande aux élèves quelles sont, selon eux, les étapes suivies dans une recherche scientifique :

| TEST n°6 – Étapes   |      |     |      |     |      |     |      |     |      |      |       |        |            |        |            |
|---|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|-------|--------|------------|--------|------------|
| Point de départ : élèves évoquant un problème dans l'étape initiale   |      |     |      |     |      |     |      |     |      |      |       |        |            |        |            |
| 5°2   |      | 5°7 |      | 3°3 |      | 3°4 |      | 2°4 |      | 2°12 |       | Totaux |            |        |            |
| Pré   | Post | Pré | Post | Pré | Post | Pré | Post | Pré | Post | Pré  | Post  | Pré    |            | Post   |            |
| 20%   | 36%  | 19% | 40%  | 9%  | 18%  | 36% | 45%  | 35% | 47%  | 46%  | 50%   | 41/144 | <b>28%</b> | 46/116 | <b>40%</b> |
| Cheminement   |      |     |      |     |      |     |      |     |      |      |       |        |            |        |            |
| <i>Élèves décrivant une démarche faite d'observations, d'expériences ou de collectes d'informations, sans hypothèse</i> |      |     |      |     |      |     |      |     |      |      |       |        |            |        |            |
| 5°2   |      | 5°7 |      | 3°3 |      | 3°4 |      | 2°4 |      | 2°12 |       | Totaux |            |        |            |
| Pré   | Post | Pré | Post | Pré | Post | Pré | Post | Pré | Post | Pré  | Post  | Pré    |            | Post   |            |
| 35%   | 9%   | 27% | 5%   | 14% | 18%  | 32% | 9%   | 30% | 32%  | 36%  | 12,5% | 42/144 | <b>29%</b> | 16/116 | <b>14%</b> |
| <i>Élèves décrivant une démarche basée sur le test d'hypothèse(s)</i>   |      |     |      |     |      |     |      |     |      |      |       |        |            |        |            |
| 5°2   |      | 5°7 |      | 3°3 |      | 3°4 |      | 2°4 |      | 2°12 |       | Totaux |            |        |            |
| Pré   | Post | Pré | Post | Pré | Post | Pré | Post | Pré | Post | Pré  | Post  | Pré    |            | Post   |            |
| 35%   | 54%  | 19% | 64%  | 18% | 47%  | 32% | 41%  | 9%  | 26%  | 11%  | 56%   | 29/144 | <b>20%</b> | 56/116 | <b>48%</b> |

Tableau XV. Étapes dans le travail d'un chercheur – Tests n°6

La vision qu'ont les élèves, à partir des séquences vécues en classe, des étapes suivies par les chercheurs a évolué vers une importance plus grande accordée au problème au départ de la recherche, vers une diminution du nombre d'élèves décrivant une démarche empirique basée sur le recueil d'observations ou d'expériences sans utilisation d'hypothèses, et un accroissement, de 20 à 48%, des élèves voyant la recherche avancer grâce aux tests d'hypothèses.

On peut noter que quelques rares élèves (2 en pré-test, 4 en post-test sur les six classes) décrivent un cheminement non linéaire, avec l'apparition en cours de route de nouvelles hypothèses : cette caractéristique demeure encore peu perçue.

### 4.3. L'évolution des élèves vue par leurs enseignants

Dans le contexte des modifications qu'ils ont apportées à leur pratique, des changements d'attitudes chez leurs élèves sont signalées par les enseignants (désignés ici par leurs initiales, explicitées dans un tableau en annexe I), dont nous indiquons quelques propos à titre d'exemples :

Au départ, certains sont surpris et déroutés (GD, LL, KR, PH, MJ, SM), ils craignent de se tromper (MS, PR), disent qu'ils « n'ont pas d'idées » (MS, PR).

Certains élèves sont réfractaires et demandent « un vrai cours » (GD) où on leur donne des réponses (MJ), et même un cours dicté (GD), ou ne proposent rien (IK, HG).

« quelques élèves très scolaires (pas forcément bons ou mauvais) ne sont pas rentrés dans le jeu. En général, cela dénotait un manque de curiosité et une incapacité à sortir du rapport "travail = note". » (HG).

Mais la plupart « se prennent au jeu » du fait de la liberté octroyée (IK, PR, KR), (« C'est vrai, on peut faire ça ? » GD) font des propositions "audacieuses" (IK), sont "hardis" (KR).

Ils apprécient le fait qu'on reconnaisse la valeur de leurs idées (GD, MS, KR, SJ, MJ) :

« beaucoup plus d'élèves se sentent sollicités lorsqu'ils ont compris que leur proposition ne serait pas systématiquement évincée si elle était fausse, mais serait étudiée avec intérêt. » (MJ).

Même si toutes ne donnent pas lieu à des activités pratiques :

« Il suffit de dire qu'on ne retiendra pas certaines hypothèses car non réalisables dans les conditions de classe et qu'on en a sélectionné une adaptée... les élèves comprennent très bien » (HG).

Ils ont moins peur de se tromper (MS, CV, KR), et, réalisant que faire des erreurs, ce n'est pas grave (CV), abandonnent l'idée de trouver à tout prix la "bonne hypothèse" (IK, KR), font preuve de plus d'autonomie (KR, IK, MS),

« surtout à partir du moment où ils comprennent qu'il n'y a pas, à ce stade, de bonne ni de mauvaise réponse » (KR).

L'écoute et le respect des autres se trouvent accrus :

« Les élèves comprennent vite que s'ils veulent que l'on s'intéresse à leurs propositions, ils doivent écouter les autres. » (MJ).

« les élèves s'écoutent beaucoup plus les uns les autres et respectent les points de vue de chacun tout en entrant dans l'argumentation. » (KC).

Certains manifestent leur intérêt ou même du plaisir (IK, GD, PR, ASM, HG).

Leur compréhension semble également meilleure :

« ils ont mieux appris et mieux compris quand cela venait d'eux que lorsque je leur imposais quelque chose. Peut-être faudrait-il savoir comment leur savoir et leur méthodologie ont évolué pour pouvoir trancher... » (ASM).

« L'élève peut acquérir une toute autre place dans la classe que celle qu'il a en cours de maths ou il ne comprend rien, par exemple. » (SMG).

« ceux qui étaient rentrés dans le jeu ont été bien "récompensés" indirectement car leur participation leur a permis de mieux comprendre le chapitre et donc d'obtenir jusqu'à un gain de 2 pts sur les notes habituelles.

Ce type d'approche n'emprunte pas la "rationalité" habituellement utilisée en cours (math, phy, svt), fait appel à plus d'imagination au moins au début, mais à la fin, les élèves ont beaucoup mieux compris les tenants et aboutissants, en empruntant des chemins parfois "faux", ils comprennent très bien en quoi un raisonnement est plus "raisonnable" ou rationnel qu'un autre. » (HG).

Certaines améliorations sont relevées par la plupart des enseignants :

- la qualité de la discussion (GD, IK, MS, PH, MJ, HG, SJ, SMG)
- l'implication des élèves (MS, CV, PH, SM, IK, LL, KR, HG, AB, SMG)
- la proposition spontanée d'idées (IK, PH, CV, KR, MS, ST, ASM, SMG)
- la qualité de ces propositions (MS, KR, LL, IK, KC, HG, SJ, ASM, SMG).

Par exemple :

« au début de l'année je n'avais qu'une ou 2 hypothèses et qui correspondaient aux souvenirs des redoublants (1/3 de redoublants dans chacune de mes deux classes de 2nde !). Mais très rapidement j'ai obtenu des hypothèses plus nombreuses, mieux étayées. » (ASM).

« Cette démarche aide les élèves à mieux penser, et à se sentir plus actifs dans l'acquisition d'un savoir : ce sont leurs propres réflexions qui sont mises en jeu, surtout lors du travail en groupes. » (SMG).

De nombreux enseignants mentionnent aussi le fait que cette approche réussit bien aux élèves en difficulté (GD, IK, LL, SM, MJ, AB, KR, HG, SJ, SMG) :

« les élèves plus lents à comprendre arrivent à suivre autant, voire mieux l'ensemble du processus : non seulement ils émettent des hypothèses, (aussi vite/ plus vite que des élèves d'habitude plus rapides), mais ils arrivent à tirer des conclusions adéquates et à critiquer les expériences.

Comment expliquer l'aspect "plus ou moins rapide" ? Cet exercice n'est pas traditionnel, et cela remet au même niveau les élèves. Cela fait appel à une certaine créativité/imagination qui n'est pas ce qui est demandé et entraîné habituellement. » (HG).

« Ceux qui décrochent vraiment ne sont pas raccrochés par cette démarche. Mais ceux pas tout à fait perdus, comme on tient compte de leurs idées, de leurs avis au même titre que les autres, font des efforts en classe, mais pas plus à la maison. » (SJ).

« Cette démarche de travail permet de raccrocher des élèves qui sont en marge du système habituellement. En effet, ils n'osent proposer de réponses, par peur de l'échec et/ou de l'humiliation. Par cette démarche et surtout grâce à la généralisation du travail en groupe, les élèves se sentent plus à l'aise pour proposer des hypothèses de réponses qui sont parfois reprises par d'autres au début, jusqu'à ce qu'ils osent enfin proposer les leurs propres. » (SMG).

## 4.4. Résultats d'autres travaux utilisant notre outil

Afin de montrer que notre outil est transférable à la fois d'un système scolaire à un autre et d'une discipline scientifique (Biologie-Géologie) à une autre (Physique-Chimie), nous souhaitons présenter une étude utilisant celui-ci, menée en Suisse par des formateurs de deux hautes écoles pédagogiques, celle du canton de Vaud et celle commune aux cantons de Berne, du Jura et de Neuchâtel (BEJUNE).

Cette recherche, portant sur les conceptions épistémologiques des élèves et intitulée *L'idée de science chez des écoliers du secondaire en lien avec l'enseignement reçu*<sup>365</sup>, concerne 261 élèves de plusieurs classes de 8<sup>ème</sup> et de 9<sup>ème</sup> année (14-16 ans). Dans cette étude, quatre classes en voie secondaire de baccalauréat (VSB) ont suivi « un enseignement dans lequel les élèves sont engagés

---

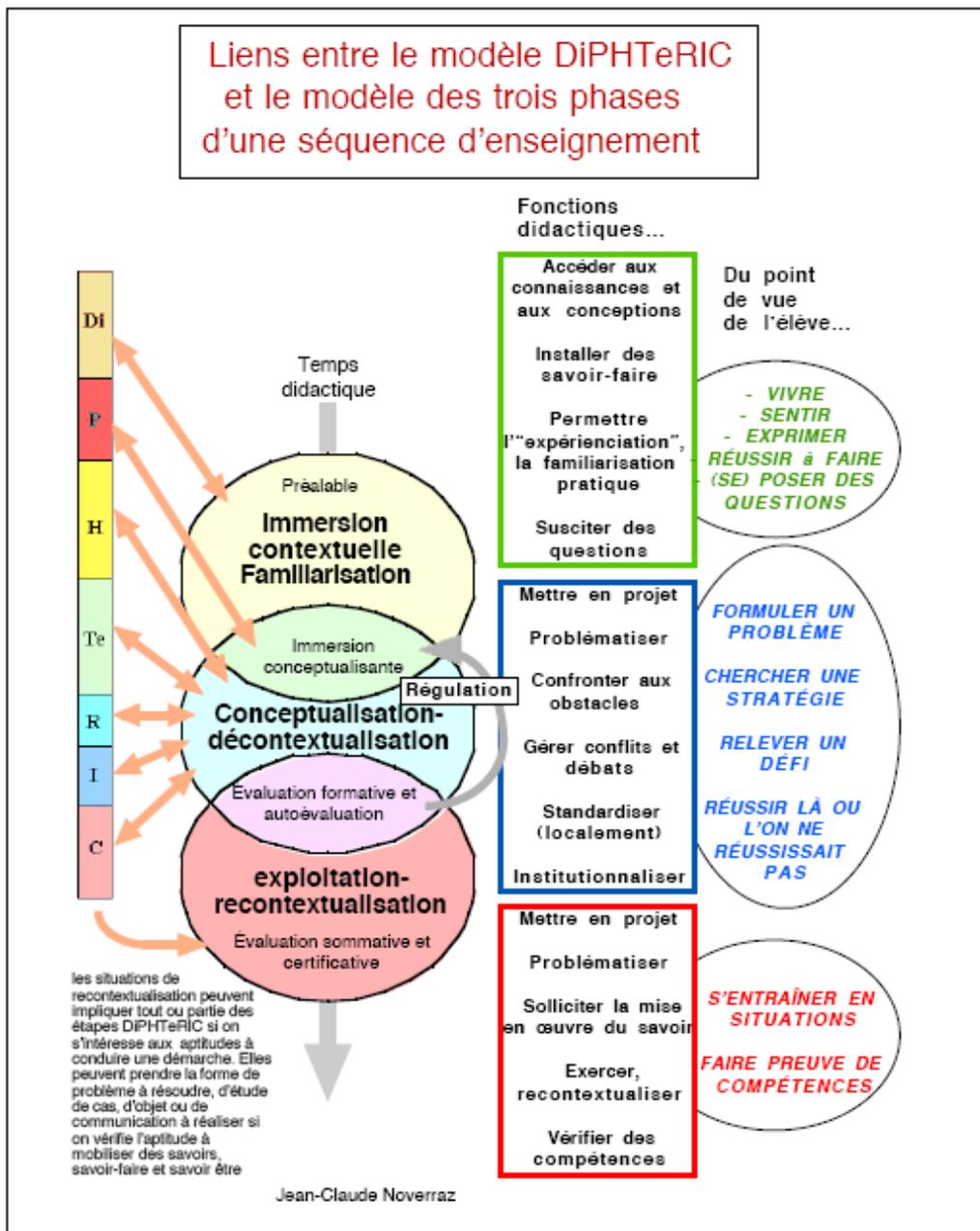
<sup>365</sup> Noverraz, J.-C., Parisod, J.-M., Chabloz, B. (2006). « L'idée de science chez des écoliers du secondaire en lien avec l'enseignement reçu ». *Formations et pratiques d'enseignement en questions*, Revue des HEP de Suisse romande et du Tessin, n°4, p. 305-334. CDHEP. Et [www.ldes.unige.ch/reds/partenaire/noverraz/rechEpist2006.pdf](http://www.ldes.unige.ch/reds/partenaire/noverraz/rechEpist2006.pdf).

dans des démarches inspirées par le modèle DiPHTeRIC » : trois classes de 9<sup>ème</sup> année durant deux ans et demi (60 élèves) et une classe de 8<sup>ème</sup> année durant un an et demi (20 élèves). Cette étude sera présentée dans ouvrage actuellement sous presse (Noverraz, J.-C. (2009). *Des idées pour enseigner les sciences*, Delagrave).

Les membres de l'équipe de recherche justifient ainsi le choix de notre modèle :

« Dans le monde de l'enseignement, tout au moins du côté de la formation des maîtres, un mythe est tombé : celui d'une démarche d'inspiration positiviste, connue sous l'appellation OHERIC (...). Des modèles plus conformes à la science telle qu'elle se pratique sont proposés çà et là. Cariou (2002), par exemple, en propose un sous l'acronyme **DiPHTeRIC** (...). Ce modèle met l'accent sur la problématisation du savoir à construire et sur l'importance de la dévolution des problèmes et des méthodes aux élèves. C'est un tel modèle qui **inspire l'enseignement des sciences prodigué** à certaines des classes qui font l'objet de notre étude (enseignement donné par le praticien formateur de l'équipe de recherche). »

Les liens avec leur propre modèle d'une séquence d'enseignement sont ainsi présentés (Noverraz & Parisod, 2005) :



Les auteurs ont formulé les deux hypothèses suivantes :

Hypothèse n°1 : Ce que les élèves pensent de la science, en fin de scolarité obligatoire, peut dépendre de l'enseignement qui leur a été prodigué et de la posture épistémologique de leur enseignant.

Hypothèse n°2 : Des jeunes adolescents, placés dans des conditions idoines, sont capables de **concevoir et mettre en œuvre un certain nombre d'éléments d'une démarche de caractère scientifique.**

Les données se rapportant à l'hypothèse n°1 ont été recueillies notamment à l'aide d'un questionnaire ouvert comportant les trois questions :

- 1 Qu'est-ce qui fait que quelque chose est scientifique ou pas scientifique ?
- 2 Que veut dire "prouvé scientifiquement" ?
- 3 Que se passe-t-il lorsque deux scientifiques ne sont pas d'accord entre eux ?

Les trois classes de 9<sup>ème</sup> année VSB ayant eu pendant deux ans et demi (2001-mi 2004) un enseignement inspiré de l'approche DiPHTeRIC, « que le professeur qualifie lui-même de "socioconstructiviste" », ont été comparées à trois classes équivalentes ayant reçu un enseignement "traditionnel". Ces deux groupes sont nommés, respectivement, 9VSBsocio et 9VSB-A.

Concernant les réponses au questionnaire ouvert, les auteurs ont noté une plus grande difficulté à répondre chez les élèves des classes 9VSB-A :

« Un certain nombre d'élèves n'a pas répondu à l'une ou l'autre des questions ou a donné des réponses du genre "scientifique : qui a un quelconque rapport avec la science" ou "prouvé scientifiquement, ça veut dire qu'on a fait une étude scientifique pour prouver la chose". Nous avons qualifié ces réponses de tautologiques. »

|                        | Trois classes 9VSB-A<br>enseignement "traditionnel"<br>58 élèves | Trois classes 9VSBsocio<br>enseignement "DiPHTeRIC"<br>60 élèves |
|------------------------|--|--|
| Non-réponse            | 3% 2/58 élèves   | 7% 4/60 élèves   |
| Réponses tautologiques | 24% 14/58 élèves   | 5% 3/60 élèves   |
| Totaux                 | 27% 16/58 élèves   | 12% 7/60 élèves  |

Les auteurs ont également recensé dans ces six classes trois types de visions "naïves" de la science, la réduisant, pour les deux premières, à des calculs et des chiffres, ou encore à des "tests" du type de ceux des spots publicitaires : un élève estime par exemple qu'une preuve scientifique est apportée quand « ce produit est testé par des personnes qui disent que ce dentifrice fait soigner les gencives ». Ces deux visions sont moins répandues dans les classes de 9VSBsocio, où les élèves sont par plus nombreux à caractériser la science par la recherche :

|                             | Trois classes 9VSB-A<br>enseignement "traditionnel"<br>58 élèves | Trois classes 9VSBsocio<br>enseignement "DiPHTeRIC"<br>60 élèves |
|-----------------------------|--|--|
| Science = calculs, chiffres | 22% 13 élèves  | 7% 4 élèves  |
| Science = tests             | 31% 18 élèves  | 22% 13 élèves  |
| Science = recherche         | 16% 9 élèves   | 55% 33 élèves  |

Certains élèves de ces six classes expriment « une vision plus élaborée de la science », fournissant « des réponses qui mettent en avant une caractéristique fondamentale de la démarche scientifique. Elles font état d'une **dialectique entre théorie et observation** ou **entre hypothèses et validation expérimentale** » :

|  | Trois classes 9VSB-A<br>enseignement "traditionnel"<br>58 élèves | Trois classes 9VSBsocio<br>enseignement "DiPHTeRIC"<br>60 élèves |
|--|--|--|
| Science vue comme un aller et retour entre <b>théorie et observation</b> ou entre <b>hypothèses et expériences de validation</b> | 5% 3 élèves  | 38% 23 élèves  |

L'écart, de ce point de vue, est conséquent :

« Les classes 9VSBsocio **se démarquent nettement des autres** avec près de quatre élèves sur dix qui **mettent en avant cette caractéristique de la démarche scientifique.** »

En complément, les 20 élèves d'une classe de 8<sup>ème</sup> année (nommée 8VSBexp) ont, après un an et demi d'enseignement de type "DiPHTeRIC" (2002-mi 2004), vécu une situation d'"élèves chercheurs" :

« Cette séquence d'enseignement s'est déroulée sur une vingtaine d'heures de cours réparties sur une période de trois mois. (...) Nous avons choisi une question de recherche qui soit authentique et dont nous n'avions pas la réponse. Les élèves le savaient, ce qui rompait avec le contrat didactique habituel dans lequel l'enseignant conduit la classe à un résultat qu'il connaît déjà. Pour cela, nous avons lancé aux élèves le défi suivant : « qui d'entre vous est capable de déceler, en la goûtant, la plus petite concentration de sucre dans de l'eau et quelle est cette concentration ? » Nous avons indiqué aux élèves que nous attendions une réponse de la classe et non pas de quelques élèves et que cette réponse pouvait être convergente ou faire état de désaccords éventuels au sein de la classe. En cours de route, nous avons même précisé que la classe pouvait décréter que la réponse à la question posée est impossible à donner et fournir les arguments qui mènent à cette conclusion. Dans cette démarche, nous avons respecté un principe méthodologique strict : à aucun moment, nous ne nous sommes substitués aux élèves. **Nous avons posé le problème, mais ils ont géré cette situation de manière autonome.** Les seuls appuis fournis étaient d'ordre **logistique** (matériel, documents, moyens audio-visuels). »

Cette séquence expérimentale s'inscrit, elle aussi, dans l'esprit de l'enseignement que nous préconisons :

« Ce défi a poussé les élèves à élaborer des démarches de travail. Ils ont **formulé des hypothèses** et **imaginé des tests de validation, conçu des protocoles** et **pris en charge des décisions** sur la validité de ces résultats. »

Les auteurs ayant interrogé les élèves de cette classe à l'aide du questionnaire ouvert avant cette séquence (mars 2004) puis deux fois après (juin et novembre 2004) constatent l'évolution suivante :

« De 10 élèves qui évoquent l'idée d'une dialectique entre théorie et expérience, on passe à 20 (la totalité de la classe). » « L'interrogation des élèves en novembre 2004, soit environ six mois après qu'ils ont vécu les situations de recherche sur le goût, nous a permis de constater une **grande stabilité des réponses.** »

Leur hypothèse n°2, quant à elle, a été éprouvée notamment à l'aide d'un questionnaire fermé (QCM) comportant une question relative à « l'axe de la démarche scientifique » :

« Pour faire progresser la science, les scientifiques...

DEI - commencent toujours par faire des observations ou des expériences et trouvent ainsi des choses qu'ils ne pouvaient pas prévoir à l'avance.

DEM - comparent leurs suppositions (hypothèses) à leurs observations ou à leurs expériences pour savoir si ces suppositions sont justes ou fausses.

DER - commencent toujours par faire des suppositions (des hypothèses) avant de faire des expériences.

DRa - croient en leurs lois, formules et théories même si ces dernières semblent contredites par des observations ou des expériences. »

Ces réponses correspondent à quatre catégories conceptuelles définies comme suit :

« DEI empirisme inductif (les découvertes sont fortuites ; des observations a priori les permettent) ; DEM empirisme modéré (va-et-vient entre les observations et les hypothèses théoriques, l'observation étant première) ; DER empirisme renversé (les investigations expérimentales sont soumises à la **formulation préalable d'hypothèses**), et DRa rationalisme (la théorie prime sur les observations ; le chercheur se méfie de ces dernières). »

Dans cette classe "expérimentale" (8VSBexp), environ 30% des élèves s'inscrivent dans la catégorie DEM et environ 70%, dans la catégorie DER, à l'exclusion des deux autres catégories,

répartition que les auteurs comparent à celle des 41 élèves de deux classes 9<sup>ème</sup> année de la même voie et du même établissement ayant reçu un enseignement “traditionnel”, qui n’entrent dans les catégories DEM et DER, respectivement, que pour environ 15 et 55% :

« on remarque que les élèves de notre classe expérimentale se particularisent notamment par les réponses données aux **questions relatives à l’axe de la démarche scientifique**. Ils se distinguent par une **plus claire adhésion à la position “empirique renversée” (DER) et par l’absence d’adhésion à l’ “empirisme inductif” (DEI)**. »

Les auteurs de cette recherche concluent :

« Les réponses données par les élèves des classes 9VSBsocio montrent un profil qui tend à valider notre première hypothèse. Ce profil, pour l’essentiel, peut être décrit en quelques points :

Les élèves des classes 9VSBsocio...

- nous donnent très peu de réponses non informatives ;
- quand, ils ont une vision naïve de la science, celle-ci est du type science = recherche (faire de la science, c’est chercher quelque chose, c’est faire des recherches) ;
- nettement plus souvent que les autres, évoquent une forme de dialectique entre théorie et observation ou entre hypothèse et expérience de validation ;
- également nettement plus souvent que les autres, sont conscient d’une dimension sociale de la science.

Un tel profil “colle” bien au type d’enseignement reçu durant deux ans et demi par ces élèves, un enseignement qui tranche avec l’enseignement traditionnel en tentant de respecter une approche **inspirée par le modèle DiPHTeRIC**, misant sur les interactions sociales et l’autonomie des élèves et donnant à ceux-ci des projets concrets ».

Les conclusions sur l’hypothèse n°2 reposent sur les réponses des élèves de la classe “expérimentale” 8VSBexp (enseignement de type DiPHTeRIC puis situation d’“élèves chercheurs” dans le même esprit) :

« Le problème de la détermination de la sensibilité au goût sucré a révélé l’**aptitude** de ces élèves à **construire une démarche cohérente intégrant des éléments essentiels d’une approche hypothéticodéductive** (...). D’autre part, les élèves ont eux-mêmes formulé ce qu’ils ont appris au travers de cette expérience. Leurs textes font état d’apprentissages de nature **methodologique** et d’apprentissages de nature **épistémologique**. Rappelons ici qu’ils ont **géré eux-mêmes leurs démarches** et que nous ne leur avons apporté que des aides logistiques.

Nous pouvons conclure que, dans le contexte que nous avons décrit, notre deuxième hypothèse est confirmée. »

Ces travaux vont donc dans le sens d’une certaine efficacité de notre modèle. Son emploi paraît apte à modifier la vision des élèves sur la science et à les rendre capable d’entreprendre et de mener à bien la résolution d’un problème par leurs propres forces, ayant acquis une certaine autonomie dans leurs démarches. Ils se montrent capables d’élaborer des hypothèses avant d’agir, de concevoir des tests pour les éprouver et de statuer à partir des résultats qu’ils obtiennent, sans que tout soit délivré par l’enseignant.

De plus, ces travaux ont été menés en sciences Physiques et au sein du système scolaire suisse. Notre outil associe un modèle de démarche, DiPHTeRIC, issu d’analyses épistémologiques non restreintes à la biologie, et un mode d’emploi qui relève de la didactique des sciences en général : nous ne l’avons utilisé que dans le contexte de l’enseignement des sciences de la Vie et de la Terre en France, mais les résultats de cette recherche tendent à montrer qu’il peut être pertinent dans l’enseignement d’autres disciplines scientifiques et en d’autres lieux.

## 4.5. Bilan et limites

### Une corroboration d'ensemble.

Ces tests et questionnaires ont donc permis de constater chez les élèves, après une année scolaire de mise en œuvre de l'enseignement préconisé à l'aide de l'outil DiPHTeRIC, un accroissement significatif des éléments constituant leur esprit scientifique, conformément à notre hypothèse.

1. La part de créativité, si peu cultivée dans l'enseignement classique des sciences, est davantage sollicitée et conduit à l'imagination d'hypothèses plus variées et d'une plus grande recevabilité, ainsi qu'à la conception de tests plus pertinents. On peut estimer que la discussion sur la pertinence des hypothèses et des tests, préconisée dans notre approche et dont les enseignants signalent une augmentation en qualité, a pu contribuer à cette évolution. La formation du premier esprit scientifique paraît donc favorisée par la mise en œuvre de notre outil.

2. L'esprit de contrôle s'est également développé, comme le traduit le choix plus fréquent d'un recours à l'expérience lorsqu'elle est présentée comme une option parmi d'autres, aussi bien que lorsqu'il faut y penser par soi-même dans un domaine sans rapport avec celui des sciences expérimentales. L'accroissement de cet esprit de contrôle, composante majeure du second esprit scientifique, est aussi sensible dans la résistance plus forte des élèves aux propos d'une autorité, future politique comme un maire : « vous le dites, prouvez-le » -attitude rare dans nos sociétés. Les élèves deviennent davantage capables de demander un recours à l'expérience, puisqu'elle est possible, pour trancher, sans se contenter d'arguments.

3. Les élèves plus âgés déjà orientés dans une filière scientifique parviennent, après une année d'un enseignement tel que nous le préconisons, à exercer leur esprit critique sur une modélisation expérimentale qui leur est proposée comme preuve de la cause d'un phénomène, tandis que des élèves plus jeunes demeurent moins bien armés pour une telle critique, montrant là une première limite de notre outil.

4. La vision qu'ont les élèves du cheminement des scientifiques se révèle moins empiriste. Un sur cinq seulement voyait en début d'année le travail du scientifique comme basée sur le test d'hypothèses : en fin d'année, si la prégnance de l'expérience reste forte, elle apparaît pour un élève sur deux non plus comme ayant une existence indépendante, mais resituée dans son dialogue avec les idées.

5. L'attitude des élèves se trouve modifiée : les craintes de se tromper, de mal faire ou de ne pas être entendu s'estompent, les dialogues prennent l'ampleur nécessaire à la confrontation des idées, les élèves ayant des difficultés restent moins dans l'ombre.

6. Plus des deux tiers des élèves ont l'impression, avec la mise en œuvre par leurs professeurs de démarches de type DiPHTeRIC, de mieux savoir *pourquoi* ils font telle activité en classe : cette meilleure perception, qui dit bien le peu de sens qu'ont pour eux les activités qui leur sont habituellement imposées, ne peut qu'avoir des répercussions favorables sur leur intérêt, leur motivation et leur comportement en classe, que relèvent d'ailleurs les professeurs. Cette meilleure appréhension du *sens des activités* s'accompagne, dans la même proportion de plus de deux tiers des élèves, du sentiment de *mieux comprendre* qu'auparavant du fait des changements perçus dans la manière de faire classe de leur professeur.

### Des limites.

Le fait qu'à l'issue d'une année d'un enseignement destiné à privilégier l'initiative des élèves, une importante cohorte d'élèves, malgré une régression (de 81 à 57%), persiste à attendre que le

professeur indique ce qu'il faut faire révèle certainement à la fois l'inertie de l'enseignement traditionnel et l'une des limites de notre outil dans ce cadre, cette attente enracinée formant un élément sécurisant pour une bonne partie des élèves et étant conforme à une tradition généralement maintenue par les autres professeurs de la classe.

On peut aussi voir que l'esprit de contrôle, malgré l'augmentation de son expression, ne concerne en fin d'année, dans un domaine extra-scolaire et extra-scientifique (test n°3, parking) que 45% des élèves, la majorité d'entre eux n'en faisant donc pas usage : la formation de cet esprit, qui doit pouvoir jouer dans tous les domaines, demeure donc partielle –au moins sur un an.

Dans les classes testées, jusqu'au niveau Seconde compris, notre outil paraît impuissant à contrer l'idée que l'on puisse parvenir à une conclusion en confrontant une hypothèse avec un *modèle* expérimental qui n'est pas la réalité, quand celui-ci est présenté dans le cadre de l'enseignement des sciences. L'esprit critique semble s'exercer davantage, mais guère, sur une présentation similaire en dehors de ce cadre. Mais si dans leur scolarité les élèves ont souvent vu paraître de tels modèles aux côtés de professeurs insistant plus sur ce qu'ils montrent que sur leur distance à la réalité, on comprend qu'il en soit ainsi.

Notre outil paraît également impuissant à vaincre la tendance qu'ont trop souvent les élèves à affirmer sans savoir : la mise en cause de leurs conceptions dans un domaine donné et la déconstruction de celles-ci qui s'opère lors de la mise en œuvre de l'outil DiPHTeRIC, dans laquelle les élèves se heurtent aux limites de leurs propositions, ne paraît pas engendrer un doute supérieur, par une sorte d'effet "collatéral" ou de circonspection plus générale, sur leurs conceptions erronées dans d'autres domaines.

Enfin, si les élèves signalent qu'ils craignent moins d'avancer des idées fausses, ce que confirment leurs professeurs, ils ne vont pas, autre limite, plus loin que le fait de considérer que leurs erreurs ne sont *pas graves* : ils n'en sont pas à réaliser que leurs erreurs puissent être *fécondes*.

Nous proposons, dans le chapitre suivant, différentes remédiations possibles pour améliorer la portée de notre outil, et compléter son action.

## Chapitre 5

# PROLONGEMENTS ET PERSPECTIVES

L'outil dont nous avons analysé la mise en œuvre ne constitue qu'un élément de la *didactique de l'initiative* que nous cherchons à promouvoir, elle-même étant au service de la formation de l'esprit scientifique des élèves que nous tenons pour un enjeu majeur de la formation de l'individu.

Nous présenterons dans cette partie d'autres travaux portant sur ce même outil, aux résultats convergents avec les nôtres, ainsi que des enseignements tirés de notre recherche qui nous permettent d'avancer des pistes de recherches ultérieures et des propositions pour la formation des enseignants.

### 5.1. Le Pentagone des Ambitions

Nous avons passé en revue de très nombreux travaux qui établissent l'échec de l'enseignement des sciences de ce point de vue depuis des décennies, et la phrase de 1978 par laquelle nous ouvrons cette étude résonne autant comme un constat actuel :

« Mais comment se fait-il que l'esprit scientifique soit si vagissant et si peu répandu dans notre société ? »

Au moins pourrions-nous espérer que ce déficit est le prix élevé d'un nécessaire sacrifice sur l'autel des connaissances. Mais il n'en est rien.

Nous avons évoqué "ça marche comment, l'ADN ?", mais même en considérant des questions d'enfants, quels parents ayant reçu une éducation normale, mais sans études scientifiques supérieures, détiennent les réponses à, par exemple : à quoi sert de respirer ? Une plante produit-elle des fruits en transformant l'eau d'arrosage ? Et à quoi lui servent-ils ? Pourquoi le Soleil brille ? Pourquoi la limonade monte-t-elle dans la paille ? Pourquoi des strates en montagne ? Et de la neige par-dessus ?

Nous avons entrepris une étude de ce genre auprès d'enseignants et de formateurs de disciplines non scientifiques. De nombreux mots sont cités, des slogans (« on respire pour vivre ! ») ; et l'on retrouve une attitude typique, révélatrice de l'enseignement reçu : des termes "savants" sont cités, mis côte à côte, dans l'attente que celui qui a posé la question, et qui sait, procède à sa pêche à la ligne et donne lui-même le sens manquant !

Inversement, nous avons demandé à nos stagiaires scientifiques de situer dans l'ordre et dans le temps Henri IV, Louis XIV et François I<sup>er</sup>, de dire s'ils avaient quelque lien de parenté, s'ils auraient pu converser avec Galilée, enfin de citer un événement politique du règne de l'un d'eux au choix –et nous avons hésité à transmettre les réponses à nos collègues historiens. Mais avons préféré laisser de côté les candidats suivants, Henri III et Louis XI...

Pour s'en tenir aux sciences, beaucoup, beaucoup de choses ont été apprises pourtant. Pour le contrôle suivant, pour le bac ou la maturité. Mais peu, fort peu ont réellement pris du sens, et parmi celles-là, moins encore sont restées.

Les programmes continuent cependant, surtout en sciences, d'être massifs. Dans le même temps, avec la prise de conscience du déficit en matière d'attitudes et de démarches, les proclamations d'intention ambitieuses succèdent aux déclarations admirables dans les préfaces des instructions officielles. Sans même revenir sur les dernières en date, considérons la première réforme qui, en 1852, voulait faire précéder l'exposition des connaissances « par un aperçu de la marche des sciences », montrant aux jeunes gens « par quel genre de raisonnement ont été faites ou perfectionnées la plupart des découvertes » (réforme de la *bifurcation* évoquée dans la partie 1.3.2.). Ces instructions insistaient sur la place formatrice à accorder, dans la section *lettres* des lycées, à l'histoire des sciences. N. Hulin-Jung remarque :

« (...) mais celle-ci n'intervient nullement **dans la formation des enseignants** alors que le législateur affirme son souci de bien préparer les maîtres. (1989, p. 144).

Cette réforme qui affiche de belles intention est, de plus, imposée de manière particulièrement autoritaire au lendemain du coup d'État :

« Or les possibilités de réussite d'une réforme « sont intimement liées à l'**adhésion sincère des maîtres**. » (*id.*, p. 179).

L'Inspecteur général de l'enseignement supérieur pour les sciences, Le Verrier, avait ainsi sa méthode pour convaincre les professeurs réfractaires à l'application de la réforme : « Eh bien... **on les brisera** ». Ce à quoi lui répond avec lucidité un autre Inspecteur général du Conseil de l'Instruction publique :

« Vous n'aurez pas à les briser, par la raison qu'ils ont une manière d'obéir qui ne laisse pas prise. Dans le corps enseignants, on est **du tempérament du roseau** ; on plie et ne rompt pas. (...) On **inscrira** donc vos nouvelles méthodes **sur l'enseigne** : dans l'intérieur de la classe on n'en appliquera que ce qu'on voudra. »<sup>366</sup>

Et c'est bien ce qui se passe toujours : les réformes se succèdent, et les termes nouvellement promus font pâlir les anciens démodés sur l'enseigne qui clame comment on enseigne. Dernier en date : *l'investigation*, qui fait de l'ombre au *problème* un peu déplumé.

Mais dans la classe, l'une des enseignantes sollicitée pour participer à notre recherche fait le point sans détour :

« Mes 2 préoccupations sont le silence dans ma classe et respecter la fin du programme en juin et pour cela il ne faut pas trop laisser d'initiative aux enfants. »

« Si on fait de la méthodologie, on ne fait pas le programme » remarquait dans le même sens l'un des enseignants d'une étude consacrée par Maryline Coquidé aux pratiques expérimentales (1998).

A. Giordan constate :

« Les programmes sont trop lourds. On a affaire à une dérive inflationniste que personne n'arrive à maîtriser. Celle-ci correspond plus au besoin d'exister d'un domaine, qu'aux nécessités ou aux possibilités de l'enfant. Aucun effort n'est fourni pour hiérarchiser les éléments du programme, dans lequel tout est mis sur le même plan. L'important est qu'il soit réalisé, peu importe si les élèves ne se le sont pas approprié. » (2002, p. 176).

---

<sup>366</sup> Nisard, D. (1888). *Souvenirs et notes biographiques*, Calman Lévy, t. 1, p. 276, cité in Hulin-Jung (1989), p. 179-180.

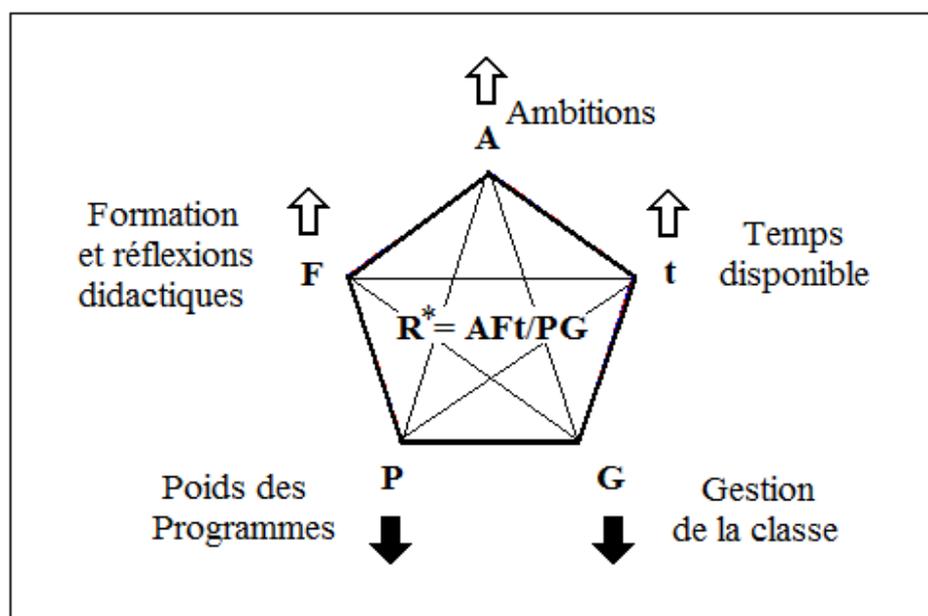
Mais en même temps :

« Mais ne tirez pas sur les profs : la plupart des enseignants sont de bonne volonté et prêts à évoluer rapidement s'ils se sentent reconnus, soutenus, et s'ils savent clairement dans quelle direction aller. » (*id.*, p. 15).

Il nous paraît important de revenir sur la mission impossible des enseignants. Voici les programmes. Lourds. Voici le temps imparti. Court. Voilà les ambitions pour la formation de l'esprit des élèves. Bien hautes. Et voilà tout pour votre propre formation là-dessus. Maigrelette. Ah, voilà aussi vos classes, quelque peu turbulentes. Allez-y.

Les programmes semblent concrétiser le mot de Bacon quant à l'essor de l'esprit : chargés de plomb, ils entravent tout saut et tout vol.

Des ambitions pour la formation de l'esprit des élèves sont régulièrement proclamées : notons ces ambitions  $A$ . Leur réalisation effective,  $R$ , dépend de  $F$ , la formation reçue et les réflexions didactiques en ce domaine, de  $t$ , le temps disponible, de  $P$ , le poids des programmes à respecter et des contenus à faire acquérir, et de  $G$ , la prégnance des problèmes de gestion de classe, selon une équation simple :



### PENTAGONE DES AMBITIONS

\* $R$  = Réalisation des ambitions pour la classe

## 5.2. Des aides pour l'enseignant

### 5.2.1. Le rapport programmes/temps : un double tri sélectif

Pour permettre l'instauration durable des nouvelles attitudes encouragées, le travail sur les programmes et sur le rapport programmes/temps nous est apparu comme devant être davantage appuyé encore qu'il ne l'est dans le mode d'emploi de notre outil, où nous l'évoquons sous le terme de "stratégie de l'accordéon". Il est en effet peu probable que les enseignants qui gardent un œil inquiet sur la liste à rallonge des contenus et l'autre sur le chronomètre se laissent détourner des rails de leur programmation par des démarches où les élèves cherchent à résoudre des problèmes qui, par nature, opposeront peut être une résistance imprévue à leur résolution. Le temps était déjà l'obsession majeure signalée par les travaux de Fillon et Monchamp (1995).

Certains enseignants ont bien intégré cette stratégie de l'accordéon à leurs pratiques :

« Comme je ne pratique pas cet outil à chaque séance, ça me permet de **passer plus vite sur certains points** en faisant plus du cours magistral. Par exemple, cette semaine, je vais passer plus vite sur l'action de l'Homme sur les conditions de la respiration dans les milieux car cette démarche ne me semble pas justifiée sur ce point. » (Alexandra Becker).

« J'ai mis longtemps avant de comprendre ce point là, qui est en effet crucial. On peut ainsi finir le programme. Mais on a plutôt tendance à faire toujours un "semblant de démarche" car il ne nous semble pas possible d'apporter des connaissances aux élèves sans les leur faire découvrir. » (Stéphanie Morvan).

Néanmoins, la présentation de notre outil gagnerait à être accompagnée d'un travail sur les programmes, afin de parvenir à les « désacraliser », et à « hiérarchiser » les connaissances à faire acquérir qui y sont listées<sup>367</sup>.

Comme le disent G. De Vecchi et M. Rondeau-Revelle :

« "Faisons la différence entre l'important et l'accessoire". Non ! Écrit de la sorte, nous avons peur que... tout soit considéré comme important ! Disons-le plutôt autrement. "Sachons faire la différence entre ce qui n'est qu'*important*... et ce qui est vraiment *essentiel* !" » (2007, p. 82).

L'"attitude Jivaro", dont parlait M. Develay (2001) pour la réduction d'autres programmes, doit jouer ici : réduire certains secteurs au strict minimum libère de l'espace pour d'autres. Un double "tri sélectif" peut être opéré :

- (1) Parmi les connaissances à faire acquérir, sur lesquelles est-ce que je passe du temps et lesquelles seront vues rapidement ?
- (2) Parmi les premières, lesquelles seront abordées par une démarche scientifique ?

### 5.2.2. Gestion de la classe et démarches

L'autre grand frein de l'équation est constitué par les problèmes de gestion de classe. Or les enseignants ayant mis en œuvre notre outil ont constaté des retombées non négligeables sur l'ambiance de la classe :

« Des élèves "dépassés" ou "négatifs" par ailleurs ont pu se révéler "performants" dans ce type de démarche. » (LL).

« Certains élèves inactifs ou qui avaient tendance à s'amuser se sont sentis concernés et ont beaucoup participé. » (IK).

---

<sup>367</sup> Pour reprendre les termes utilisés par G. De Vecchi et M. Rondeau-Revelle dans *Traiter les programmes avec plus de sérénité*, Delagrave, 2007, p. 11 et 51.

Y compris face à des élèves de ZEP, de secteurs aussi redoutés des enseignants que Pantin (dans le “9-3”) ou Nanterre :

« Alors que l’enseignant s’attend à une mise à l’épreuve, c’est **plutôt l’inverse qui se produit** au niveau de la discipline » (SMG, Pantin).

« Des élèves qui ont pour habitude de ne pas avoir leurs affaires, de ne pas prendre note du cours, de ne pas être attentifs... **se prennent quand même au “jeu”** des hypothèses : ils savent que toutes les propositions, pour peu qu’elles soient logiques, sont prises en compte, même si elles sont “réfutées” par la suite. Des élèves plutôt turbulents ont été pris par le côté “recherche”. » (KR, Nanterre).

On comprend que l’impression qu’a un élève dissipé de ce qui se passe en classe puisse être différente lorsqu’il se rend compte que le professeur fait attention à ce qu’il dit, ou lorsqu’il arrive en classe et que l’expérience à mettre en route est justement celle qu’il avait proposée, peut-être un peu par défi mais non sans logique, la fois précédente. Le professeur aura d’ailleurs, face à des élèves difficiles, tout intérêt à insister pour obtenir leurs propositions, à les faire discuter, améliorer éventuellement, et mettre en œuvre effectivement : même si à cette occasion l’élève peut faire le fanfaron, le fait d’être ainsi pris au sérieux est rarement sans conséquence positive.

Voici ce qu’en dit une enseignante du collège Gabriel Fauré à Paris :

« Les élèves souvent **les plus bavards ou les plus agités** discutent de la démarche avec leur voisin, et parfois se sentent valorisés d’avoir aidé le copain à élaborer un protocole.

Un exemple, la semaine dernière, j’ai laissé mes classes de 5<sup>ème</sup> réfléchir sur l’élaboration d’un protocole pour mettre en évidence la respiration d’un animal aérien. **C’est un élève, a priori en difficulté**, pouvant poser des problèmes en classe, qui a trouvé comment utiliser l’eau de chaux.

Il est allé au tableau faire le schéma du montage. Cet élève ne me pose plus de problème alors que je sentais une tension déjà lors du premier cours. Sur cette séance j’ai pris du temps, mais finalement je pense que pour la suite (ambiance dans la classe, participation...) **c’est tout bénéfique**. » (Alexandra Becker).

### 5.2.3. Exemples de progressions et banques *PHyTe*

Pour entreprendre des démarches laissant une part d’initiative importante aux élèves, certains des professeurs collaborateurs ont souligné l’apport que constituait pour eux la fourniture d’exemples de progressions adaptées aux séances en préparation. Même s’ils n’appliquent pas ces progressions telles quelles, ils peuvent s’en inspirer, en extraire des idées ou des morceaux de séquences. Les critiques même qu’ils ont pu en faire vont dans le bon sens : « progressions trop guidées pour les élèves », « parfois un manque d’activité pratique », peut-être, mais l’esprit général demeure, ainsi l’enseignante ayant fait la dernière remarque citée ajoute :

« Ces exemples concrets de démarche m’ont aidée à donner plus d’initiative aux élèves. » (LL).

« cela permet de nous donner une idée, sinon on aurait tendance à laisser moins d’initiative aux élèves » (SM).

« on n’est pas obligé de les suivre exactement, mais cela donne des pistes pour donner plus d’initiatives aux élèves » (SJ).

« Même sans les appliquer telles quelles, elles permettent de voir avec quel état d’esprit donner plus d’initiative aux élèves. » (SMG).

En même temps, cette manière de procéder peut “bousculer” le professeur :

« La préparation des cours est pour moi un vrai casse tête dans les premiers temps car elle m’oblige à **lutter contre mes propres représentations initiales** qui sont parfois un frein à la mise en place de ce genre de démarche ! » (SMG).

« J'ai jeté mes anciens cours ! » (MJ).

Le caractère non linéaire des progressions fournies est parfois relevé :

« Les exemples sont très parlants (Cf. Infra). Par exemple la proposition d'observer des gamètes pour éprouver les hypothèses semble logique pour les élèves.

Le professeur peut alors donner le document photo 1 montrant que la structure externe des gamètes semble identique. Ce qui amène les élèves à un **retour en arrière sur leurs hypothèses** : il faut être plus précis. Si ce n'est pas à l'extérieur, cela peut être à l'intérieur....

Un tel fonctionnement **évitant l'application linéaire** de la démarche permet aux élèves de mieux appréhender le problème scientifique et les hypothèses (ils ont souvent tendance dans le cas d'une démarche linéaire à oublier le problème à résoudre et les hypothèses proposées). » (PR).

Le fait que les enseignants aient fréquemment signalé que les propositions prévisibles des élèves correspondaient bien à ce qu'ils ont obtenus en classe incite à établir ou à compléter les « banques *PHyTe* » déjà évoquées (en 3.1.4.2.) présentant, pour un problème scientifique donné, une liste des hypothèses et des propositions de tests provenant d'élèves d'un niveau donné. Ces banques sont constituées à partir des recueils faits par des stagiaires dans leurs classes, qu'ils peuvent s'échanger entre eux.

En octobre 2006, une innovation a eu lieu –ponctuellement- dans la présentation d'un projet de document d'accompagnement en SVT : pour la première fois y sont donnés des exemples concrets de propositions par les élèves d'hypothèses (fausses mais logiques) et de tests<sup>368</sup>. Nous avons vu cependant (partie 1.3.7.) comment ce même document fournit des exemples fort éloignés du canevas général qu'ils sont censés illustrer.

Y figurent néanmoins la suggestion de l'établissement de schémas hypothétiques de la circulation sanguine, comme nous l'avons suggéré dans notre proposition de progression **P1** (annexe III-**P1**), ainsi que la description succincte d'une démarche de recherche de l'origine des règles :

« **Rechercher l'origine des règles [en classe de quatrième]**

L'apparition des règles à la puberté chez la jeune fille, permet à l'élève de se questionner quant à l'origine de celles-ci. Il propose des **explications possibles** et **anticipe ce qu'il doit observer** pour **valider** ses propositions : il **définit** ainsi son projet de recherche.

C'est l'ovaire qui perd du sang lorsqu'il expulse un ovule dans la trompe de Fallope ; si cette proposition est exacte les règles se produisent au moment de l'ovulation. Une **recherche documentaire**, ou la **présentation d'un calendrier** indiquant les jours d'ovulation et les périodes de règles permet de rejeter cette première explication.

C'est l'utérus qui saigne ; si cette proposition est exacte la paroi de l'utérus doit présenter des modifications expliquant le saignement. Une **observation d'une coupe d'utérus**, avant pendant et après les règles permet de valider cette deuxième explication.

C'est le vagin qui saigne ; si cette proposition est exacte la paroi du vagin doit présenter des modifications expliquant le saignement. Une **observation de coupe de vagin** permettra de rejeter cette proposition.

Au cours de la structuration, ces activités complétées par une animation montrant l'évolution de la muqueuse utérine durant un cycle permettent d'atteindre ce premier niveau explicatif de l'origine des règles. »

S'il s'agit de données recueillies lors d'observations de classes, elles peuvent entrer ainsi dans la banque *PHyTe* de 4<sup>e</sup> :

---

<sup>368</sup> En classe de Quatrième, [http://eduscol.education.fr/D0018/SVT\\_4e\\_acc.pdf](http://eduscol.education.fr/D0018/SVT_4e_acc.pdf), page 5.

|   |                         |  |
|---|-------------------------|--|
| Banque <i>PHyTe</i>   | CLASSE : 4 <sup>e</sup> | Problème ou Question : Quelle est l'origine des règles ?   |
| PROPOSITIONS des élèves   |                         |  |
| <b>HYPOTHÈSES :</b><br><b>H1 :</b> l'ovaire perd du sang lorsqu'il expulse un ovule<br><b>H2 :</b> C'est l'utérus qui saigne<br><b>H3 :</b> C'est le vagin qui saigne |                         | <b>TESTS ou MOYENS :</b><br><b>Te pour H1 :</b> confronter les jours d'ovulation et les périodes de règles<br><b>Te pour H2 :</b> observation d'une coupe d'utérus avant, pendant et après les règles<br><b>Te pour H3 :</b> observation de coupe de vagin |

Même cet exemple est celui d'une question (le lieu de saignement) et non d'un problème, et qu'on puisse douter que ce soient les élèves qui proposent, pour savoir si un organe saigne, de l'observer en coupe –tandis que ces observations correspondent bien au projet d'activité pratique du professeur-, la mention explicite d'hypothèses multiples attendues par la classe et l'engagement sur la piste d'hypothèses fausses est à remarquer.

Ce document, qui accompagne un programme applicable à compter de la rentrée de l'année scolaire 2007-2008, est cependant toujours, fin 2008, à l'état de "projet" sur le site du ministère.

Les documents qui accompagnent l'enseignement des sciences au niveau primaire vont plus loin, et fournissent, sur un certain nombre de thèmes, des progressions assez détaillées, dont pourraient s'inspirer les concepteurs des programmes du secondaire.

Les banques *PHyTe* que nous constituons recourent les « catalogues » de conceptions, qui correspondent à autant d'hypothèses potentielles, tels ceux que proposent G. De Vecchi et A. Giordan sur différents concepts (1996, chapitre 8 notamment) :

« La diversité de ces conceptions n'est pas aussi grande qu'on peut parfois le penser. **Ce sont leurs manifestations qui sont variées** (...). Si on prend soin de laisser se confronter ces conceptions fausses, cela « **désamorçe** » le plus souvent le mécanisme. La réalité ou les éléments que peut apporter le maître prennent le pas sur les hypothèses abusives qui ont pu être avancées. » (1996, p. 52-53, *Mots en gras des auteurs.*)

La *banque de situations-problèmes* élaborée par G. De Vecchi (2004) indique également, pour chacune des situations traitées, les conceptions habituelles des élèves.

Leur connaissance préalable permet de rassurer un bon nombre d'enseignants, qui se risqueront plus volontiers à laisser de l'initiative aux élèves s'ils se font une idée des pistes que vont emprunter les élèves :

« En ce qui me concerne, j'aurai éventuellement besoin de plus d'exemples d'hypothèses non valides et de documents pour les invalider. Mais je pense fondamentalement que c'est une question d'entraînement à accroître sa propre rigueur. » (Muriel Janus).

« Le problème est que les élèves peuvent proposer des hypothèses raisonnables c'est-à-dire testables en classe mais que l'on n'a pas ou bien que l'on n'a pas prévu le matériel adéquat pour tester ces hypothèses. » (Christophe Victoire).

Si ces banques réduisent l'imprévu, la « progression saltatoire », qui place une séquence sur deux séances, l'efface, sans pour autant entamer l'initiative des élèves :

« cette méthode (...) demande une certaine capacité à **gérer l'imprévu** (Que vont dire les élèves comme hypothèses ? Quelle(s) proposition(s) d'expérience vont-ils proposer ? ) **Avec l'expérience** professionnelle, on peut effectivement anticiper et connaître les hypothèses que vont proposer les élèves et selon la personnalité être capable de rebondir en allant chercher le matériel demandé par exemple (ou au lycée le demander à l'agent de laboratoire).

Dans ce dernier cas, la **progression saltatoire** permet de remédier à cette éventualité. » (Pascal Rey).

« La Banque PHyTe m'a été utile au début. Maintenant, je constate que ce sont toujours les mêmes propositions qui reviennent. Elle n'est pas inintéressante pour autant, et je m'en servirai sûrement à l'occasion de changements de programmes ou de niveau de classe.

« La "progression saltatoire" m'a parfois permis de me laisser le temps de chercher des informations, pour annoncer au cours suivant : "des chercheurs l'ont déjà fait, ils ont obtenu tel résultat..." » (KR).

« Même s'il en existe déjà quelques unes, la généralisation des banques de propositions **seraient un moyen efficace d'anticiper les cours** et de pouvoir **parer aux éventuelles remarques et idées originales des élèves**. Ces banques permettraient aux enseignants de constituer des dossiers de documents (diapos de vidéoprojections, site internet, articles journalistiques...) à montrer à leurs élèves en cas de besoin. J'ai remarqué que plus l'enseignant avait de documents et se montrait prêt à **répondre aux hypothèses** posées et plus les élèves sont incités à en formuler de nouvelles. » (SMG).

## 5.3. D'autres approches pour l'axe 1 (investigations des élèves)

### 5.3.1. Exercices pour stratégies des sciences

Du côté des élèves, des réflexions et des activités autres que le suivi de leurs cheminements dans des démarches de résolution de problèmes sont susceptibles, en parallèle à celles-ci, de rendre plus efficace encore la formation de leur esprit scientifique. Des exercices ponctuels portant sur les démarches, et simplement destinés à faire fonctionner leur sagacité, pourraient permettre une *imprégnation méthodologique*, en les consultant, ponctuellement, en tant que *stratégies des sciences*, par exemple :

- sur ce problème, voici plusieurs hypothèses : lesquelles sont recevables ? (Même chose entre hypothèse et tests.)

- à une classe de Troisième (ou autre niveau  $n$ ) : voyez le matériel dans la salle : la classe de Cinquième (ou autre niveau  $n-x$ ) qui était là avant vous a fait telle expérience... Mais pourquoi, selon vous, les élèves l'ont-ils entreprise ?

Ou encore en les faisant réfléchir ne serait-ce qu'une fois dans l'année, par oral ou, mieux, par écrit, sur chacun des termes suivants souvent utilisés :

- un problème en sciences... à quoi ça sert ? (Même question une autre fois avec : une expérience... une hypothèse...)

Un travail de ce genre a été entrepris, dès l'entrée au collège d'élèves de ZEP, par Martine Szterenbarg<sup>369</sup>.

Édouard Claparède (1933, II, 1) proposait déjà à des étudiants de résoudre des énigmes par la conception d'hypothèses, pour « étudier la façon dont fonctionnait l'esprit du sujet » il est vrai, mais la même approche peut servir à la formation de cet esprit.

« Les problèmes ont été choisis de telle sorte que la solution ne pût se présenter immédiatement. (...) Un problème trop facile n'est plus un problème. » (p. 61-62).

Par exemple :

« *Biberon automatique* – Trois images : 1. Bébé placé dans le plateau d'une balance ; dans l'autre plateau, des contrepoids. Au-dessus de lui pend un tuyau communiquant avec un tonnelet situé au-dessus de la balance ; la balance est horizontale. – 2. La balance s'est inclinée, le plateau contenant le bébé est remonté, de sorte que celui-ci a dans sa bouche l'extrémité du tuyau. – 3. Le plateau contenant le bébé est descendu. Que cela signifie-t-il ? » (p. 64).

<sup>369</sup> Szterenbarg, M. (1991). « Élaborer l'idée d'expérience », *ASTER* n°12, *L'élève épistémologue*, p. 86-87.

### 5.3.2. Approche interdisciplinaire

Dans le même ordre d'idées, Gabriel Gohau (1976) voulait faire étudier aux élèves les énigmes policières d'Edgar Poe, ou les enquêtes médiévales d'Umberto Eco pour mieux former leur premier esprit scientifique.

« Et après tout, si l'on **formait aussi l'esprit scientifique** en lisant de bons romans policiers ? » (Gohau, 1977).

Einstein et Infeld soulignait, en se référant à Conan Doyle, les points communs entre romans policiers et science :

« Dans un bon roman à mystères les fils conducteurs les plus frappants conduisent à des **souçons injustifiés**. Dans nos tentatives de comprendre les lois de la nature, nous trouvons **de même** que l'explication intuitive et parfaitement évidente est **souvent incorrecte**. » (1936, p. 12).

Il ne s'agit pas de proposer des "amusements" qui seraient perçus comme des pertes de temps. Il s'agit de faire fonctionner ce que Claparède estimait être une composante majeure de « l'acte d'intelligence », et qui, de ce fait, n'est pas spécifique aux sciences : l'interdisciplinarité peut trouver ici un terrain d'application de choix, Poe ou Eco n'étant pas des scientifiques de renom. De même,

« En géographie, en histoire il faut **émettre des "si", mettre à l'épreuve ses certitudes** pour apprendre vraiment. (...) En histoire, un apprenant solitaire envisage **plusieurs hypothèses** face à un événement. (...) Le fait d'être deux ou plus induit une **variété d'idées** qui souvent s'opposent. Les conceptions de l'individu vacillent. » (Giordan, 1998, p. 119-120).

Un rapprochement de ce type a été initié en 2007-2008 par une enseignante de SVT utilisant notre outil et sa collègue de Français, dans un collège difficile de ZEP (Zone d'Éducation Prioritaire) à Nanterre :

« L'étude en **6ème** du **roman policier** permet de faire des **passerelles avec les SVT** pour que les élèves comprennent la démarche scientifique (Di : La vieille dame riche est morte - P : Comment expliquer que la vieille dame riche soit morte ? - H : 1/ elle est morte de mort naturelle 2/ elle a été assassinée par son fils qui voulait son argent 3/ elle a été assassinée par sa femme de chambre qui avait été surprise en train de fouiller dans ses affaires, etc. Te : faire intervenir le médecin légiste pour connaître la raison de la mort, interroger des personnes, chercher un indice (traces de pas, ADN,...) R/I/C : résultats des tests, interprétation et conclusion : "l'hypothèse est validée, c'est bien le fils car..." ou aucune hypothèse n'est validée, il faut proposer de nouvelles hypothèses : "et le jardinier ?"). »

### 5.3.3. L'apport de la métacognition

En demandant aux élèves de réfléchir sur le rôle d'une expérience ou d'un problème dans leur apprentissage, nous avons rejoint le domaine de la **métacognition**, dans lequel les élèves se retournent sur leur parcours et réfléchissent sur leur démarche mentale, que le psychologue John Flavell définit ainsi :

« La métacognition se rapporte à la **connaissance qu'on a de ses propres processus cognitifs** ou de tout ce qui y est lié »<sup>370</sup>.

La métacognition correspond à un niveau méthodologique élevé où il est fructueux d'entrer avec les élèves, qui outrepassent, mais complètent, celui que l'on peut atteindre avec notre outil. Ce dernier lui ouvre la voie cependant : « j'ai appris malgré mes idées fausses, comment ai-je fait ? »

---

<sup>370</sup> Flavell, J.H., (1976). "Metacognitive aspects of problem-solving". In Resnick, L.B. (dir., 1976). *The nature of intelligence*, Lawrence Erlbaum and Associates, p. 231-235.

Si l'esprit scientifique se forme en se réformant, en se rectifiant, comme disait Bachelard, il se forme aussi en revenant sur le processus de rectification accompli.

Puisqu'on offre à l'élève des conditions telles qu'il puisse parvenir à résoudre des problèmes en s'appuyant sur ses idées, et donc sur ses conceptions et ses erreurs, on fournit en même temps des matériaux précieux à sa propre réflexion sur le savoir : j'ai donc appris en me trompant...

Si j'ai appris en me trompant, en osant, *je peux, je dois* encore pouvoir y parvenir. Ce sont mes propres forces qui ont joué : elles ne sont donc pas si faibles. Les autres aussi ont joué un rôle, le désaccord m'a poussé à préciser mes idées, à les défendre parfois avec succès, parfois à les abandonner, mais sans défaite. Seules, les idées sont défaites : si je sais en fabriquer qui *tiennent la route*, l'essentiel est fait, nous verrons bien, au bout du compte, si c'était la bonne route. Non ? Fort bien. Je le note –et, sûrement, je m'en souviendrai. Mais c'eût pu l'être. Elles sont défaites parce que le monde merveilleux est fait autrement, son *possible* n'était pas, cette fois, *mon* ou *mes* possible(s). Ça l'est, d'autres fois.

La dimension affective et la dimension sociale jouent à plein dans une telle prise de recul. La dimension cognitive aussi : il arrive qu'un élève imagine un monde possible certes inexistant, mais *meilleur*, au moins en apparence, que le monde réel. Il importe que l'élève, de ce point de vue, en arrive à ne pas être le leibnizien caricaturé par *Candide* : c'est un pas important que celui qui peut l'amener à réaliser que lui-même, par son imagination, peut appliquer à la nature cette sentence trop souvent lue sur les bulletins : *peut mieux faire*. Car c'est aussi une formation importante de l'esprit, dans le domaine des sciences, quand l'élève en vient, par le jeu des possibles, à se dire que si son idée n'est pas celle qui a été "retenue" par l'évolution de la nature, elle n'apparaît pas *a priori* moins bonne, et parfois même au contraire. Ainsi en est-il par exemple lorsque les élèves, ayant compris que les ovules devaient n'emporter que la moitié du matériel génétique, proposent pour leur formation une unique division par deux : lors du test de cette hypothèse, ils découvrent une méiose avec deux divisions là où une suffirait, d'autant plus surprenant chez la femme qu'à part l'ovule les autres produits de ces divisions ne survivent pas.

Ce genre de cas a un double intérêt : d'une part les élèves ne peuvent pas proposer la bonne hypothèse, qui n'est pas "logique", mais y parviennent tout de même en en testant une fausse, et d'autre part ils se rendent peut-être encore mieux compte que l'essentiel n'est pas de proposer la bonne réponse, ici quelque peu farfelue.

La réflexion des élèves sur leurs propres cheminements rejoint celle qu'ils peuvent mener sur ceux des savants eux-mêmes, eux aussi progressant en rectifiant leurs erreurs dans l'histoire des sciences.

## 5.4. Approche historique et épistémologie (axe 3)

Nous avons considéré (partie 2.1.2.2.) l'approche historique comme l'un des trois axes majeurs de la formation de l'esprit scientifique (axe 3), permettant, comme le ferait une authentique recherche scientifique menée par les élèves eux-mêmes (axe 2, *immersion*), de donner aux élèves une image de la recherche scientifique plus juste que celle qui peut être engendrée par les investigations menées en classe (axe 1). Montrant aux élèves l'écart entre le travail réel des chercheurs et leurs modestes investigations, cette approche leur permet aussi de se rendre compte des points communs existant, toute proportion gardée, et, si l'on prend des exemples qui conduisent à cette notion, de leur faire réaliser pourquoi ce n'est pas le résultat obtenu en travaux pratiques qui est décisif, mais celui avalisé par la communauté scientifique.

Le choix de certains cas permet cependant de saisir que, d'une part, cet aval n'est pas définitif, et que d'autre part même le travail de deux élèves dans un lycée peut, comme nous le verrons, conduire à alerter la communauté scientifique.

### 5.4.1. Histoire des errances et des ruptures

Nous avons vu quel important profit pouvait être tiré en Première scientifique de l'étude de la découverte des neurotransmetteurs et de la transmission synaptique, en suivant les itinéraires de Loewi et de Eccles (partie 2.2.2.), auquel on peut d'ailleurs adjoindre les propos épistémologiques de Eccles (partie 1.2.9.2.).

L'intérêt pour les élèves de prendre connaissance des démarches des savants et de les comparer aux leurs est souligné depuis longtemps. Ainsi, un rapport officiel de 1891 mentionne :

« (...) le génie scientifique en travail fournit à la jeunesse, par **ses initiatives, ses doutes, ses erreurs même**, autant que par ses succès un enseignement éminemment suggestif et moral. Par là, le professeur de sciences peut relier ses leçons à celles des professeurs de lettres, d'histoire et de philosophie (...) Il collabore à sa manière à l'enseignement de l'histoire »

« Pour [une] raison d'**éducation générale de l'esprit**, le professeur ne négligera pas (...) *l'histoire de la science*. L'élève a parfois moins à retirer de l'exposé d'une vérité **que de l'historique de sa découverte**. Le génie scientifique en travail fournit à la jeunesse, par **ses initiatives, ses doutes, ses erreurs mêmes**, autant que par ses succès, un enseignement éminemment suggestif et moral.

Par là enfin le *professeur de sciences peut relier ses leçons à celles des professeurs de lettres, d'histoire, de philosophie.* »<sup>371</sup>.

Alexandre Koyré, éminent historien des sciences, évoque, dans son propre *curriculum vitae* rédigé en 1951, les méthodes de sa discipline, donnant toute leur place aux échecs, et son enseignement :

« L'histoire **de la pensée scientifique**, telle que je l'entends et m'efforce de la pratiquer, vise à **saisir le cheminement** de cette pensée dans le mouvement même de son **activité créatrice**. (...) On ne saurait sous-estimer **l'intérêt des polémiques** (...), il y aurait danger à ne pas étudier de près la manière dont un Wallis, un **Newton**, un Leibniz **envisageaient eux-mêmes l'histoire de leurs propres découvertes**, ou à négliger les **discussions philosophiques que celles-ci provoquent**.

On doit, enfin, **étudier les erreurs et les échecs avec autant de soin que les réussites**. Les **erreurs** d'un Descartes et d'un Galilée, les **échecs** d'un Boyle et d'un Hooke ne sont **pas seulement instructifs** ; ils sont **révélateurs des difficultés qu'il a fallu vaincre, des obstacles qu'il a fallu surmonter**.

Ayant nous-mêmes vécu deux ou trois crises profondes de notre manière de penser – (...) la révolution relativiste, la révolution quantique – **ayant subi la destruction de nos idées anciennes** et fait l'effort d'adaptation aux idées nouvelles, nous sommes plus aptes que nos prédécesseurs à comprendre les crises et les polémiques de jadis.

---

<sup>371</sup> Cité par Hulin, N. (1996). « Histoire des sciences et Enseignement scientifique. Quels rapports ? Un bilan XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles », *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°786, juillet-septembre 1996, p. 1201-1243 (texte p. 1216-1217).

Je crois que notre époque est particulièrement favorable à des recherches de cet ordre et à **un enseignement** qui leur serait consacré sous le titre de *l'Histoire de la pensée scientifique*. » (1973, p. 14-15).

L'introduction aux programmes de SVT au collège de 2004 comporte un paragraphe « Histoire des sciences » ainsi rédigé :

« L'enseignement des SVT **à partir de l'histoire des sciences** représente une réelle opportunité de motivation pour les élèves, dont il favorise la curiosité. Il permet de **les faire réfléchir sur la façon dont se construisent les savoirs**, de manière **rarement linéaire** et progressive mais **par tâtonnements**, par **remise en cause de théories incomplètes ou erronées**. C'est également une façon de prendre en considération les **représentations et obstacles** qui existent à chaque étape des apprentissages. Dans cette perspective, l'enseignement doit au moins intégrer une activité par niveau basée sur un événement scientifique de portée historique. »

Ce texte mentionne à la fois l'intérêt de la réflexion sur les itinéraires et celui de la connaissance des obstacles.

Sans prétendre que la pensée des enfants passe par les mêmes voies que celles suivies par les savants dans leur quête historique et qu'ainsi l'ontogenèse résume la phylogénèse, vision trop simpliste (Giordan et De Vecchi, 1987, p. 138 ; 1987, Lacombe, 1987), les élèves retrouveront tout de même chez les chercheurs certaines des conceptions qu'ils auront eux-mêmes exprimées, car comme le dit Gohau (2006) :

« (...) la récapitulation fonctionne à la condition de ne pas la prendre dans un sens trop strict. »

Nous avons indiqué dans la fiche présentant aux enseignants le mode d'emploi de notre outil (partie 3.2.1.) le cas de l'élève proposant des sédimentations successives pour expliquer le litage d'un gneiss, idée qui a déconcerté l'enseignant mais était celle de géologues du XIX<sup>e</sup> siècle, ou encore, dans la progression proposée en génétique (3<sup>e</sup>), le rôle privilégié accordé par certains élèves aux spermatozoïdes, comme par les animalculistes du XVIII<sup>e</sup> siècle.

Les élèves pourront aussi voir combien les savants, tenant à leurs conceptions erronées, purent être aveugles à leurs propres observations, ainsi que le montrent Giordan et De Vecchi (1987, chapitre VII).

Pourquoi, lorsque l'on traite de l'évolution des espèces, ne pas faire un détour avec les élèves par les expériences historiques qu'un chercheur fit avec ceux de différentes classes ? Sur le problème de la colonisation des îles, il rejetait l'hypothèse de Forbes et Lyell des ponts continentaux et supposait que les graines pouvaient résister longtemps à l'eau de mer. Pour tester cette idée dans diverses conditions ("to test how long seeds could endure immersion in sea-water"), il place des graines dans des bouteilles, sur sa cheminée, dehors, dans sa cave... et met à contribution des classes entières des paroisses voisines ! Et les œufs de lézard, flottent-ils ? Survivent-ils ? Il offre même quelques shillings de récompense aux écoliers qui lui en fournissent et les observent. Ce généreux savant, qui en 1855-1856 fait mener une recherche expérimentale à différentes écoles pour tester ses hypothèses, se nomme Charles Darwin<sup>372</sup>.

Un certain nombre de textes officiels ou documents de travail récents valorisent l'approche historique :

- Un rapport de l'Inspection Générale de SVT :

---

<sup>372</sup> **The Complete Work of Charles Darwin Online :**

<http://darwin-online.org.uk/content/frameset?viewtype=side&itemID=F1682&pageseq=1>, et Continenza, B. (2004). *Darwin, l'arbre de vie. Les génies de la science*, février-mai 2004, Pour la Science, p. 63.

« **Quelle place pour l'histoire des sciences ?** L'intérêt épistémologique de l'histoire des sciences souligné pour la formation des enseignants est **admis par tous** (...). Envisager l'évolution des idées dans leur contexte historique (...) est une orientation qui paraît utile »<sup>373</sup>.

- Le texte de cadrage des programmes des lycées :

« Dans bien des cas, rien ne peut remplacer **l'exposé historique**. Celui-ci a un côté culturel irremplaçable, qui situe la découverte scientifique dans son contexte temporel mais aussi montre comment les découvertes scientifiques ont influencé le cours de l'histoire. L'exposé historique permet de mesurer **la difficulté** que l'humanité a rencontrée **pour résoudre des problèmes** qui peuvent aujourd'hui sembler élémentaire. » (BO n°6, 12 août 1999).

- Le programme de Physique (Seconde) :

« *Restituer la dimension historique du développement des sciences* peut jouer ici un rôle spécifique essentiel. (...) La curiosité pour les sciences et pour les **mécanismes de la création** en générale se nourrit à l'évidence de connaître les **controverse**s passées, **les longues impasses comme les avancées brutales**, les grandes synthèses qui surprennent le bon sens et bouleversent la perception immédiate et intuitive du monde. » (BO n°2, 30 août 2001).

- Le programme de SVT de Seconde comporte, lui, trois "thèmes" au choix historiques : les travaux de Harvey, dont nous avons signalé la parfaite correspondance avec la succession DiPHTeRIC dans la progression de Seconde « Physiologie de l'effort » (annexe III-P9) ; ceux de Claude Bernard, avec justement l'exemple sur lequel fut mis en évidence l'écart entre le cheminement réel de et la présentation arrangée faite après coup (Grmek, 1973) ; et ceux de Watson et Crick, pour lesquels nous disposons, entre autres, des narrations faites par les autobiographies des deux auteurs.

Toujours en SVT, en Terminale S, enseignement de spécialité, deux thèmes sont à traiter « dans un état d'esprit permettant de **comprendre l'évolution d'un savoir scientifique** »<sup>374</sup>.

Tout ceci semble parfait mais, comme le dit cette enseignante, qui a été conduite à la réflexion qui suit par le maniement de notre outil :

« Cette pratique m'a fait prendre conscience de mon inculture en épistémologie, que je trouve passionnante mais que je n'ai pas encore eu le temps d'approfondir. Cela me gêne souvent ! » (Muriel Janus).

Si l'on ne veut pas que les proclamations d'intention flamboyantes sur l'histoire des sciences rejoignent les déclarations sur les démarches scientifiques dans l'obscurité de leur réduit, il faut en effet prévoir une formation appropriée des enseignants.

Le rapport Bourdieu-Gros sur le contenu de l'enseignement secondaire (1989) affirmait une telle nécessité :

« Un enseignement moderne ne doit en aucun cas sacrifier **l'histoire** (...) **des philosophies et des sciences**. (...) l'enseignement des mathématiques ou de la physique, tout autant que celui de la philosophie ou de l'histoire, peut et doit permettre de préparer à **l'histoire des idées, des sciences** ou des techniques (cela, évidemment, à **condition que les enseignants soient formés en conséquence**). (...) L'opposition entre les "lettres" et les "sciences" (...) peut et doit être surmontée par un enseignement capable de **professer à la fois la science et l'histoire des sciences ou l'épistémologie** »<sup>375</sup>

---

<sup>373</sup> *L'enseignement des SVT au collège et au lycée : entre essor des connaissances et préoccupations sociales*, Rapport de l'Inspection Générale de SVT, Ministère de l'Éducation nationale, 1997.

<sup>374</sup> Document d'accompagnement du programme de SVT de Terminale S, février 2002.

<sup>375</sup> Rapport Bourdieu-Gros, *Principes pour une réflexion sur les contenus de l'enseignement*, Ministère de l'Éducation Nationale, mars 1989.

Ce que le truculent Henri Bouasse (1898) disait déjà à sa manière, à l'époque des premières recommandations d'introduction de l'histoire des sciences dans les cours :

« (...) c'est par un sentiment théoriquement très louable que les savants qui ont rédigé les programmes d'étude de 1891 pour l'enseignement secondaire, recommandent aux professeurs de sciences physiques d'exposer **l'historique des questions**. En fait, le conseil était platonique, **l'histoire des sciences étant généralement ignorée**, à moins qu'elle ne consiste à **débiter les anecdotes connues** sur la lampe de Galilée et l'inconvenance d'Archimède. »<sup>376</sup>

À défaut d'une formation, des documents d'accompagnement pourraient au moins (ou en parallèle) fournir des textes originaux (ou indiquer comment se les procurer, par exemple sur le site *Gallica* de la Bibliothèque Nationale de France) et des exemples de travaux avec des élèves sur ceux-ci.

En 1985, un Inspecteur général de sciences naturelles (Godet) fit faire un tel travail. Justement sur le thème que nous évoquions avec Loewi et Eccles, le programme de l'option Sciences Naturelles de Terminale A proposait d'étudier « Les théories successives sur la nature et la transmission de l'influx nerveux » comme l'un des « exemples de théorie biologique ». L'Inspecteur général demanda alors à Hélène Rouch, enseignant cette option, et à Gabriel Gohau, « bien connu par ses articles sur l'histoire des sciences et sur l'expérimentation », de produire une publication d'« exemples de leçons » accompagnés de remarques épistémologiques<sup>377</sup>. Tout en précisant, comme nous le faisons pour nos exemples de progressions, que d'autres choix sont possibles, cette brochure offrait au moins aux enseignants à la fois une quinzaine de documents historiques ou de commentaires d'historiens, le contenu des séances et une réflexion épistémologique débutant ainsi :

« L'historique des idées sur la transmission de l'influx nerveux est propre à **faire comprendre les mécanismes de la découverte scientifique**, dont il offre de multiples exemples. » (p. 7).

Cet exemple de document destiné aux enseignants est malheureusement une exception, et sa diffusion fut restreinte.

Quel que soit le secteur de l'histoire des sciences que scrute l'enseignant en quête d'éléments en rapport avec une partie des programmes, il est quasiment assuré d'y récolter, bien plus qu'un épisode à narrer, des idées et des faits qu'il pourra présenter aux élèves de manière à les faire réfléchir, discuter, en tirer toute la « leçon » en termes de démarches et d'attitudes scientifiques.

Prenons, par exemple, le seul domaine du programme de Seconde pour lequel nous n'avons pas fourni aux enseignants de progression DiPHTeRIC : celle relative aux « plans d'organisation du monde vivant ». L'historique de cette question nous transporte rapidement en pleine querelle entre Geoffroy Saint-Hilaire et Cuvier (1830-1832), « débat du siècle » qui passionne Goethe qui y assiste directement, Balzac qui dédie le *Père Goriot* à Geoffroy, George Sand, qui prend aussi le parti de ce dernier.

Les conceptions font vite leur apparition, comme celle d'une nature qui fait attention à ses dépenses et dresse les plans des êtres sans jeter cornes et sabots par les fenêtres :

« Le total général au budget de la nature est fixé, dit Goethe ; mais elle est libre d'affecter les sommes partielles à telle dépense qu'il lui plaît. Pour dépenser d'un côté, elle est forcée d'économiser de l'autre. »<sup>378</sup>

---

<sup>376</sup> Bouasse, H. (1898). « Le rôle des principes dans les sciences physiques », *Revue générale des sciences*, n° 9, p. 561-569.

<sup>377</sup> Gohau, G. et Rouch, H. (1985). *Un exemple de théorie biologique - Les théories successives sur la nature et la transmission de l'influx nerveux*. CRDP de Paris, 42 p.

<sup>378</sup> Cité par François Jacob, *La logique du vivant*, 1970, p. 118.

Cette “loi de balancement” alors discutée, vient d’une idée d’Aristote : « la nature invariablement donne à une partie ce qu’elle soustrait à une autre »<sup>379</sup>, c’est cornes *ou* dents du haut, loi que nous avons rencontrée chez Grosseteste (vers 1230, partie 1.2.1.2.).

Faisons ici une parenthèse littéraire :

« Mais imagine le cas des animaux à cornes. Pourquoi ont-ils des cornes ? Tu t’aperçois à l’improviste que tous les animaux pourvus de cornes n’ont pas de dents à la mâchoire supérieure. Ce serait une belle découverte, si tu ne te rendais pas compte que, malheureusement, il existe des animaux sans dents à la mâchoire supérieure et qui toutefois n’ont pas de cornes, comme le chameau. (...) Alors tu t’essaies à imaginer une cause matérielle aux cornes : le manque de dents procure à l’animal une excédence de matière osseuse qui doit bien percer quelque part. Mais est-ce une explication suffisante ? (...) l’évêque de Lincoln s’en était fort occupé, lui, en suivant une idée d’Aristote. (...) mais c’était pour te dire que **la recherche des lois explicatives**, dans les faits naturels, **procède de façon tortueuse**. » (*Le Nom de la Rose*, p. 328-329).

Laissons la leçon faite par Guillaume de Baskerville à Adso pour revenir aux deux protagonistes du débat de 1830 : d’autres conceptions que cette loi du balancement sont plus ancrées encore chez eux, et Jean Rostand (1945, IX, et X) les décrit :

« Guidé par **son idée préconçue** de l’unité de plan, **Geoffroy Saint-Hilaire** a fait d’heureuses découvertes (...); mais le **désir de trouver à tout prix** des ressemblances, des correspondances entre animaux éloignés l’a parfois **entraîné à de graves méprises**. » (p. 113-114).

« Assurément, pour un esprit réaliste et positif comme **Cuvier**, il était beaucoup plus **difficile de souscrire à l’idée** d’évolution que pour des esprits aventureux comme Lamarck et Geoffroy Saint-Hilaire » (p. 127).

Le débat épistémologique est là aussi :

« Cuvier représentait le respect du fait, Geoffroy le droit à l’hypothèse » (p. 114).

« Par défiance de l’hypothèse, par souci de ne pas dépasser les faits, Cuvier s’est lourdement trompé » (p. 128).

« [Lamarck et Geoffroy] ne s’effarouchent d’aucune supposition ; il ne leur coûte rien d’imaginer le passage d’un poisson à un reptile, d’un reptile à un mammifère... Cuvier (...) répugne à de telles conjectures, qui lui paraissent relever de la fable, non de la science ».

Les cornes de Grosseteste ou les “fables” de Geoffroy (d’un reptile à un mammifère !...) peuvent être discutées à tous les niveaux où il est question de classification ou d’évolution.

Des regards pourront également être portés par les élèves sur des **recherches contemporaines**, en cours, et nous mentionnons ici pour mémoire l’exemple fourni précédemment avec l’article « Un mutant défie Mendel » paru dans *La Recherche* en janvier 2006 (partie 1.2.9.3.) pour laquelle les scientifiques avancent huit hypothèses, en écartent deux et n’ont encore fait que trois tests sur les autres.

Un des intérêts, et non des moindres, d’un tel regard sur la science en marche est que le cheminement qu’il révèle écarte, au moins partiellement, le risque d’une reconstruction *a posteriori* de la démarche. On peut d’ailleurs, si l’on suit avec les élèves le résumé qui sera un jour fait de ce travail, une fois l’énigme résolue, ou si on leur en soumet d’autres exemples, leur faire découvrir l’écart entre une recherche en cours et une telle reconstruction.

---

<sup>379</sup> Mayr (1982, I, p. 611).

## 5.4.2. Faire de l'épistémologie en classe

Une autre dimension est également abordable en classe, que nous avons évoqué avec les réflexions épistémologiques de Eccles : indépendamment des textes d'histoire des sciences proprement dit, les élèves peuvent analyser avec profit des documents portant directement *sur la méthode*, et même sur les controverses méthodologiques.

Nul doute que l'opposition entre Newton et Hooke, la mise en doute de l'histoire de la pomme, la rocambolesque histoire de la lettre mystérieuse à Huygens –irrésolue-, l'influence énorme de la sentence de Newton, ont de quoi instruire les élèves en les passionnant.

De même, la controverse haute en couleurs entre Pasteur et Berthelot, ou encore les hypothèses erronées successives de Watson et Crick s'effondrant sous le regard doux mais inflexible de Rosalind Franklin, procédant, de son côté, à une accumulation inductive des résultats de diffraction aux rayons X, sans vouloir connaître à l'avance la fin du "film".

On peut aussi utiliser le récit de R. Feynman, que nous avons déjà évoqué (partie 1.2.9.2.), où il narre comment, bien avant son prix Nobel, son père l'éduquait en le questionnant sur les oiseaux rencontrés sans lui fournir de réponses :

« Au lieu de se contenter de m'indiquer leur nom, mon père disait par exemple : « As-tu remarqué que les oiseaux sont toujours en train de fouiller dans leurs plumes avec leur bec ? Regarde cet oiseau comme il farfouille dans ses plumes. **Pourquoi à ton avis ?** » Je tentai une réponse : « C'est parce que ses plumes sont ébouriffées et qu'il essaye de les lisser. – **Peut-être**, me dit-il, mais quand ses plumes sont-elles ébouriffées, et **pourquoi ?** – Quand il vole, dis-je ; quand il marche au sol tout va bien, mais quand il vole, ses plumes s'ébouriffent. – **Alors**, me répondit-il, l'oiseau devrait fouiller dans ses plumes plus souvent juste après s'être posé, qu'après avoir simplement marché. Eh bien, **regardons si c'est vrai** ». Nous nous mîmes donc en observation. » (1980, p. 224).

Encore M. Feynman père exagère-t-il, et l'on pourrait demander aux élèves *en quoi* : un "et alors ?" en dirait moins qu'un "alors, l'oiseau devrait fouiller...", et un "comment le savoir ?", qu'un "regardons si c'est vrai".

Prenons un exemple semblable avec Rousseau et son *Émile* : un exercice peut consister à demander aux élèves comment ils feraient *mieux* à la place de Jean-Jacques :

« JEAN-JACQUES : Nous avons un moyen de trouver le nord à midi ?  
ÉMILE : Oui, par la direction de l'ombre.  
JEAN-JACQUES : Mais le sud ?  
ÉMILE : Comment faire ?  
JEAN-JACQUES : Le sud est l'opposé du nord.  
ÉMILE : Cela est vrai ; il n'y a qu'à chercher l'opposé de l'ombre. Oh! voilà le sud ! voilà le sud ! sûrement Montmorency est de ce côté. »

De même, pour Socrate et la célèbre duplication de la surface du carré du *Ménon* de Platon, après avoir eux-mêmes résolu le problème, il est salutaire qu'ils repèrent l'excès d'informations fourni par Socrate, et ils peuvent alors tenter d'y substituer un questionnement moins directif, se mettant eux-mêmes à la place du professeur.

### Le bec du pivert iakoute

Cuvier estimait que les conjectures de Lamarck et Geoffroy relevaient « de la fable, non de la science » : les rapports entre ces deux types de pensées ont été discutés par P. Medawar et Fr. Jacob, et l'on verra qu'amener les élèves à des réflexions épistémologiques ne nécessite en rien la lecture de textes philosophiques complexes.

Ainsi Lévi-Strauss rapporte-t-il dans *La pensée sauvage* (1962)<sup>380</sup> que pour les iakoutes (Sibérie), l'attouchement du bec d'un pic soigne les maux de dents, tandis que pour d'autres peuples sibériens, une chauve-souris desséchée pendue au cou est radicale contre la fièvre.

Peter Medawar (1972, p. 33) s'en prend avec véhémence à l'ethnologue lorsque celui-ci propose, au lieu d'opposer magie et science, de « les mettre en parallèle, comme deux modes de connaissance » (1962, p. 26) :

« Les récits scientifiques et poétiques ou imaginaires du monde ne sont pas différenciables à leur origine. (...) Mais les mythes ne sont pas des vérités réelles, au mieux sont-ce des structures vrai-semblables (truthlike), candidates à ce qui peut être admis pour vrai, mais d'une candidature qui s'exonère d'**examen** public. » (Medawar, 1972, p. 30-36).

Ce sont ces idées que reprend François Jacob (1981), dans un autre texte accessible à des élèves dès le collège :

« À certains égards, **mythes et sciences** remplissent une même fonction. Ils fournissent tous deux à l'esprit humain une certaine représentation du monde et des forces qui l'animent. Ils délimitent tous deux le **champ du possible**. (...)

Selon les termes de Peter Medawar, l'enquête scientifique commence toujours par **l'invention d'un monde possible**, ou d'un fragment de monde possible.

Ainsi commence la pensée mythique. Mais **cette dernière s'arrête là**. Après avoir construit ce qu'elle considère non seulement comme le meilleur des mondes mais comme le seul possible, elle insère sans peine la réalité dans le cadre qu'elle a créé. Chaque fait, chaque événement est interprété comme un signe qui est émis par les forces régissant le monde et qui, par là même, prouve leur existence et leur importance. **Pour la pensée scientifique, au contraire, l'imagination n'est qu'un élément du jeu**. A chaque étape, il lui faut **s'exposer à la critique** et à **l'expérience** pour **limiter la part du rêve** dans l'image du monde qu'elle élabore. **Pour la science, il y a beaucoup de mondes possibles**, mais le seul intéressant est celui qui existe et qui, depuis longtemps déjà, a fait ses preuves. **La démarche scientifique confronte sans relâche ce qui pourrait être et ce qui est**. C'est le moyen de construire une représentation du monde toujours plus proche de ce que nous appelons "la réalité". » (1981, p. 25).

François Jacob nous rappelle ici quel est l'un des sens premiers de la formation scientifique : permettre la distinction entre les produits de l'imagination, et ceux de l'objectivation.

---

<sup>380</sup> Lévi-Strauss, C. (1962). *La pensée sauvage*, Coll. Agora, Pocket, Plon, 2004, p. 21.

## 5.5. Exercice social de l'esprit scientifique

« Le but des enseignants devrait être de fabriquer des emmerdeurs », a dit Albert Jacquard dans une de ses conférences<sup>381</sup>. Voilà un projet d'établissement qui aurait de l'allure. Et qui pourrait s'appuyer sur les nombreuses instructions officielles qui demandent que « l'enseignement proposé participe au développement de l'esprit critique » (programme de 1°S, 2001).

Former l'esprit scientifique et critique des élèves, c'est bien, leur fournir l'occasion de l'exercer dans la société, c'est mieux. Mais quand l'élève range dans son sac ses papiers où sont bien notées les procédures pour soumettre avec toute la rigueur requise ses idées à l'épreuve des faits, et que les feuilles glissent contre la couverture glacée du magazine lui annonçant tout ce que lui réservera l'année nouvelle selon les astres, personne ne s'interroge. Pas davantage si sa soirée est consacrée au tirage des tarots ou à utiliser un pendule pour retrouver son chat perdu... dont on comprend la fuite. Avant le bac, les devantures des pharmacies lui vanteront les pilules pour la mémoire ou les oligoéléments, sans doute pour stimuler son esprit critique.

« On la voit encore plus ou moins **mêlée à la religion et au surnaturel**. Le **merveilleux et la superstition** y jouent un grand rôle. (...) Cet état de choses est la preuve la plus claire que **la méthode expérimentale n'est point encore arrivée** dans la médecine ». Cl. Bernard (1865, p. 77).

Ce que Claude Bernard disait de la médecine, on pourrait aujourd'hui le dire aussi de l'éducation.

Jean Rostand avait testé la recherche du corps d'une victime sur une carte à l'aide d'un pendule, avant de faire cette imploration à l'éducation :

« Enseigner aux jeunes **l'esprit critique**, les prémunir contre les mensonges de la parole et de l'imprimé, **créer en eux un terrain spirituel où la crédulité ne puisse prendre racine**... et surtout les mettre en garde contre le témoignage humain. »<sup>382</sup>

Albert Jacquard (1998, p. 169) fait aujourd'hui le même constat et attend de l'école qu'elle joue "son rôle premier" :

« Étonnamment la diffusion de l'attitude scientifique, **à base de doute et de remise en question**, semble s'accompagner dans nos cultures d'un développement des croyances les plus grossières, les plus infantiles, les plus irrationnelles. (...) Cette pensée prélogique **ruine les fondements mêmes d'une attitude vraiment scientifique** (...). La laisser se développer en estimant qu'elle disparaîtra spontanément tant elle est ridicule est une stratégie pleine de danger ».

Nos objectifs d'enseignants scientifiques sont bien vains, pense-t-il, si nous négligeons de demander aux élèves de faire fonctionner leur esprit scientifique –ici le second, l'esprit de contrôle- en dehors de la classe.

La science est, rappelle André Giordan (1999, p. 21-22),

« un **état d'esprit de contestation méthodique**. (...) l'éducation scientifique actuelle est trop rarement un enseignement où l'on essaye de développer l'esprit critique. (...) **Voyantes, cartomanciennes, numérologues** tiennent actuellement le haut du pavé, de la télévision au Palais Bourbon ! ».

Dans un récent numéro de Pour La Science (septembre 2001), le généticien André Langaney fulmine contre la "généologie" :

---

<sup>381</sup> Cité par G. de Vecchi et N. Carmona-Magnaldi, in *Faire construire des savoirs*, Hachette Éducation 1996, p. 93.

<sup>382</sup> Cité in Fischer, J. L. (2001). *Rostand, un biologiste engagé*, Les génies de la science, *Pour la science*, mai-août 2001, p. 68-69.

« pour retrouver le passé et prédire le futur, l'examen de l'ADN est **la nouvelle charlatanerie** ».

Dans une société où abondent croyances infondées et superstitions, les sujets ne manquent pas pour laisser les élèves mener des travaux "socialement utiles" dans lesquels ils s'interrogeraient sur les critères de validité méthodologique appliqués à des assertions ou à des pratiques sociales controversées, dans la veine du sujet traité en 2000-2001 par une classe **sur les vertus antidépressives supposées du chocolat**.<sup>383</sup> Travaux d'enquête d'intérêt public qu'ils pourraient mener sur, par exemple, la numérologie, l'iridologie, les effets de la caféine, de la vitamine C ou d'Oscillocoquinum, ou encore les prédictions astrologiques ou les vertus prêtées aux eaux minérales, et autres assertions publicitaires (du type "Omo lave plus blanc" !) ou pharmaceutiques (crèmes amincissantes, etc.) aussi quotidiennes que douteuses.

À titre d'exemple de ce que pourraient produire ces *travaux d'enquête*, on peut prendre comme modèle, plus élaboré bien sûr, le *Rapport sur le thermalisme français*<sup>384</sup> et son coût pour l'assurance maladie, publié par l'Inspection Générale des Affaires Sociales en octobre 2000, qui note avec ironie :

« Si un consensus fort existe quant à l'efficacité du thermalisme sur l'économie locale, il n'en est pas de même sur son intérêt thérapeutique ».

Le rapport cite le scepticisme de Montaigne et de Voltaire, et des élèves pouvaient conclure d'une étude sur ce sujet, comme l'auteur d'un article qui y est consacré :

« Les eaux thermales ont-elles des vertus curatives ? Rien n'est moins sûr ! En tout cas, la chose reste à démontrer et personne ne semble vraiment pressé d'avoir la réponse »<sup>385</sup>.

S'ils ne peuvent mener l'étude médicale par eux-mêmes, leur enquête peut tout du moins les amener à demander aux établissements sur quoi ils se basent d'autre que sur la tradition et l'opinion des curistes, quels sont leurs propres résultats d'évaluation thérapeutique ou ceux d'organismes indépendants, les soumettre pour avis à des spécialistes... Et si ces évaluations n'existent pas, le faire savoir tout en exposant ce qu'il faudrait faire : le rapport cite l'essai en simple ou double aveugle contre placebo.

Ils peuvent aussi choisir quelque chose de testable par eux-mêmes, par exemple les crèmes amincissantes, et établir le protocole (garder une jambe témoin, étendre l'échantillonnage en faisant participer tout le lycée, utiliser un placebo, faire une analyse statistique...) avant de le faire valider par des spécialistes sollicités auprès du ministère de la santé, demander aux fabricants sur quoi ils fondent leur assurance... et peut-être reconnaître qu'ils avaient raison : cette fois le résultat n'est pas forcément connu d'avance par l'enseignant !

Il ne serait pas difficile non plus pour des élèves de mener une enquête sur les prédictions astrologiques, passées ou en cours, en analysant leur plus ou moins grande précision et en les confrontant aux faits, d'en faire soi-même sans recourir aux astres pour disposer d'un témoin, de faire une étude statistique, de consulter la partie "efficacité" de la thèse soutenue avec succès par une astrologue réputée<sup>386</sup> et d'interroger les membres de son jury sur cet aspect...

Albert Jacquard (1998, p. 172) préconise :

---

<sup>383</sup> *Mise en œuvre des TPE*, Lycées - rentrée 2001, Direction de l'enseignement scolaire, p. 37.

<sup>384</sup> rapport officiel consultable sur <http://www.sante.gouv.fr/htm/actu/thermal/sommaire.htm>.

<sup>385</sup> Jean Brissonnet, « Les cures thermales sont-elles efficaces ? », *Sciences et Pseudo-sciences* n°249, novembre 2001.

<sup>386</sup> E. Teissier, E. (2001). *Situation épistémologique de l'astrologie à travers l'ambivalence fascination / rejet dans les sociétés post-modernes*, thèse de sociologie, Université Paris V, avril 2001.

« Pour tenter d'ouvrir les yeux sur la monstrueuse manipulation des esprits que constitue le bombardement astrologique ou paranormal de nombreux médias, deux types d'arguments peuvent être avancés : une **analyse** réellement scientifique des influences astrales supposées, une **étude rétrospective des prévisions** antérieures. »

L'étude serait tout aussi aisée pour la numérologie.

Un exemple d'élèves rigoureux et opiniâtres faisant un exercice social de leur esprit critique nous est donné par deux lycéennes néo-zélandaises de 14 ans qui avaient décidé de vérifier en cours de chimie le slogan d'une firme ventant une boisson à la mode : « quatre fois plus de vitamine C que dans le jus d'orange »<sup>387</sup>.

Ah ? Ce n'est pas ce qu'Anna et Jenny ont retrouvé dans leurs tubes à essais, et la multinationale, informée, leur ayant répondu par le mépris, n'en a que plus lourdement été condamnée.

De tels travaux ne peuvent qu'être bénéfiques à la diffusion d'une attitude scientifique, dans des sociétés perméables aux croyances les plus irrationnelles : ainsi, pour prendre des exemples significatifs dans la France moderne, un collège public a constitué pendant trois ans ses classes sur... les signes astrologiques des élèves<sup>388</sup> ! (Qui pourront d'ailleurs aussi plus tard être recrutés, ou non, sur ce critère).

Les contributions au colloque organisé au Muséum National d'Histoire Naturelle par les chercheurs du CNRS J. Dubessy (géologue) et G. Lecointre (phylogénéticien) sur les impostures intellectuelles sont réunies dans un ouvrage<sup>389</sup> dont l'avant-propos interpelle « les professeurs de la République chargés d'enseigner les Sciences de la Vie et de la Terre ».

Ne pas engager les élèves à se servir par eux-mêmes du levier puissant de l'esprit scientifique dans une société si perméable aux dérives intellectuelles n'est pas sans conséquences, à une époque où l'on entend réclamer un enseignement de l'astrologie en Sorbonne. Il est vrai que l'aptitude à l'emploi de nombre de nos élèves sera évaluée en fonction de leur signe astral ou de l'analyse de leurs écritures : lorsqu'il en sera de même des candidats au bac et aux concours d'enseignants, on aura moins de copies à corriger.

Nous ne parviendrons peut-être pas à forger un Montaigne ou un Voltaire, ce dernier faisant un parfait exemple de ces "emmerdeurs" qu'affectionne Jacquard. Mais nous pouvons méditer cette recommandation limpide de son compagnon d'esprit Diderot, dont on a évoqué la vision pénétrante de la démarche scientifique, et qui vaut pour l'enseignement comme pour la vie sociale : il suffit souvent, pour commencer à faire choir une hypothèse, de la pousser à avancer (1753, §50).

---

<sup>387</sup> « Comment deux lycéennes ont fait plier un laboratoire », *Marianne*, 14 au 20 avril 2007.

<sup>388</sup> <http://www.unice.fr/zetetique/zetetique.html>

<sup>389</sup> Dubessy, J. et Lecointre, G. (dir., 2001). *Intrusions spiritualistes et impostures intellectuelles en sciences*, Syllepse.



# CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de cette étude, de ces considérations, de ce parcours remontant aux sources historiques, entendant les débats épistémologiques, bénéficiant des éclairages didactiques et revenant dans la classe de sciences où s'affairent les élèves, il apparaît que nous pouvons dégager aujourd'hui les grandes lignes de ce qui peut favoriser la formation de leur esprit scientifique.

Un consensus paraît de nos jours établi d'une part sur l'intérêt de tenir compte des conceptions des élèves, d'autre part, de leur laisser, à des moments choisis, une part d'initiative conséquente, dont il leur faut user avec conséquence.

Nul ne semble contester la puissance potentielle, parmi d'autres axes éducatifs possibles, de telles stratégies bien pensées, et leur place dans l'arsenal pédagogique. Les vues pénétrantes sur l'éducation scientifique d'un Dewey, d'un Piaget, lorsqu'on les redécouvre dans toute leur fraîcheur, paraissent avoir aussi conservé toute leur portée.

Si le consensus paraît régner chez les didacticiens, il règne aussi dans les instructions officielles, même si l'éclat des consignes sur ce point n'a d'égal que l'obscurité du recoin où le professeur peut les trouver, si, feuilletant les documents ministériels, il se fourvoie par inadvertance loin des contenus.

Comme le disait G. Gohau :

« La nécessité de faire acquérir une méthodologie scientifique s'impose à tous les esprits », (2002, p. 177).

Mais vaincre l'inertie sur le terrain paraît encore une tâche redoutable.

Tout y concourt : on n'y parle que de contenus et d'activités. Les revues et les sites internet destinés aux enseignants scientifiques du secondaire présentent la dernière "manip" démonstrative, le nouveau matériel de tel constructeur, mais ils ne listent pas des conceptions et des hypothèses d'élèves ou des idées pour suivre leur démarche.

Les professeurs se résignent à cette facilité. Car c'est bien une facilité : être toujours devant les élèves sur une route maintes fois parcourue, montrer, se retourner pour capter un bon terme, faire une pause "expérience" ou "document", est plus aisé que se retrouver de temps à autre derrière eux sur une piste qu'on redoute cahoteuse.

Mais c'est bien aussi une résignation : « je le ferais bien, si... ». Si les conditions étaient réunies. Elles ne le sont pas, faute d'une orientation générale sensible, d'un mouvement d'ensemble perceptible à travers les instructions, les inspections, la formation et les épreuves de recrutement des enseignants, et même les manuels scolaires. Les incitations ministérielles seules sont impuissantes à renverser une pratique héritée d'une tradition épistémologique fortement ancrée.

Aujourd'hui lorsque, par exemple, un enseignant prenant la peine de lire les recommandations générales voit qu'on y suggère d'une manière abstraite de prendre en compte les conceptions des élèves, mais constate ensuite que les contenus sont présentés et commentés d'une manière qui visiblement n'inclut pas cette prise en compte, il la considère comme étant de pure forme, non sans raison.

Puisque les programmes sont, en France, présentés sous forme de colonnes, si l'une d'entre elles, jouxtant les contenus, se nommait « conceptions habituelles rencontrées chez des enfants de ce niveau », voire allait jusqu'à fournir « des exemples d'observations et d'expériences proposées par des élèves pour ce problème », cette demande de prise en compte gagnerait en crédit.

Peut-être peut-on voir l'amorce d'une évolution allant dans ce sens dans le projet de document d'accompagnement présentant en 2006 des hypothèses fausses d'élèves (évoqué en 5.2.3.).

La question de l'accompagnement d'exemples concrets de progression (qui pourraient être présentés sur un site pédagogique dédié) est plus délicate, puisqu'on peut toujours craindre que l'exemple soit considéré comme un modèle à suivre sans s'en départir. Mais il est possible d'éviter partiellement cet inconvénient en proposant plusieurs voies possibles, et par ailleurs, les commentaires des enseignants ayant mis en œuvre les progressions DiPHTeRIC sur leur manière de les remanier, de les bricoler ou de seulement s'en inspirer, sans en perdre l'esprit, nous incitent à ne pas trop craindre un pareil danger. De telles bases "concrètes" –l'appel au concret des instructions est suffisamment permanent pour qu'il leur soit retourné sous cette forme– pourraient être retravaillées par les enseignants préparant leurs séquences, et servir également de point d'appui substantiel en formation.

Mais nous ne pouvons modifier les programmes ni les horaires de sciences, ni les effectifs souvent non dédoublés en collège.

Il faudrait donc se lancer dans de telles pratiques *bien que* les conditions ne soient pas, *a priori*, réunies. C'est bien le cas : faute d'une mise en place par les gouvernements de conditions cohérentes avec leurs proclamations ambitieuses, et de formations appropriées pour les enseignants, il faut bien faire avec les moyens du bord. Faire avec sans réel moyen d'aller contre.

C'est la raison même d'être d'un outil comme le nôtre : faisons avec les moyens du bord, car on peut tout de même tenter d'aménager le navire.

Reste à être convaincant, crédible. Notre étude renforce notre conviction que les enseignants ont besoin, pour oser affronter les difficultés, réelles ou imaginaires, inhérentes à la conduite d'authentiques séquences d'investigation, à la fois de discours théoriques forts **et** d'éléments pratiques concrets. Comme le dit Kant de la raison, il faut avancer tenant d'une main des principes, et de l'autre, l'expérimentation imaginée d'après ces principes. Car la *critique de la raison pure*, c'est bien, mais il semble nécessaire d'y adjoindre une *critique de la raison pratique*. Des propositions de séquences à critiquer, à reprendre, d'une part, un arsenal de "stratagèmes" sécurisants d'autre part pour encourager les enseignants à s'engager dans les cheminements des élèves : "attitude Jivaro" sur les contenus et "accordéon" dans la programmation pour se placer en condition de quiétude temporelle, possibilité d'un "temps mort" dans la séquence (progression saltatoire) permettant de tenir compte, *ou non*, des propositions des élèves, en ayant l'assurance de pouvoir les considérer en paix et non sur le gril, banques *PHyTe* pour avoir connaissance de celles-ci à l'avance, possibilité rassurante de changement de voie dans le "diagramme ferroviaire".

Tous ces points, ainsi bien entendu que l'usage de notre outil, qui en intègre plusieurs, et les différentes approches évoquées en partie 5, sont autant de champs que des recherches ultérieures pourront explorer plus avant.

Ce sont aussi autant de propositions pour la formation des enseignants : les exercices tels ceux de Claparède, les moments de métacognition, ou encore l'analyse de textes historiques, conduisant à dégager quelques concepts épistémologiques, peuvent être entrepris avec des stagiaires afin que ceux-ci en mesurent l'intérêt avant d'en faire autant avec leurs élèves.

Construire des progressions dans l'esprit qui anime notre outil et les "tester" en classe en gagnant en confiance grâce aux "stratagèmes" évoqués constitue certainement un élément important de formation d'enseignants. Les progressions que nous avons élaborées dans le cadre de cette

recherche en sont les éléments les plus concrets : un acte de formation peut aussi, en dehors de ce que des stagiaires élaborent eux-mêmes, en soumettre des extraits au feu de leurs critiques : à eux de les amender, d'en corriger les défauts, de proposer mieux, c'est aussi à ça qu'elles sont destinées.

Placer des élèves dans des situations où ils ont à résoudre des problèmes est un choix didactique, une possibilité parmi d'autres, et si elle est fortement promue, c'est en raison du caractère formateur que peuvent avoir les voies de résolution empruntées. On s'appuie sur certaines stratégies développées par l'esprit humain, repérées dans la longue histoire de son cheminement vers la connaissance. Mais si ces stratégies ne peuvent jouer, l'entreprise devient vaine, et ne subsiste qu'à l'état d'artifice.

L'esprit humain en effet, s'il s'intéresse à quelque chose, ne peut pas ne pas se laisser emporter au-delà des choses. L'esprit humain est, avant tout, esprit. Il trace des cordes et tire des arcs dans les cieux, disait Montaigne ; en quête de sens, même les orbes infinis reçoivent sa visite. Il espère comprendre, et cette soif le pousse souvent à voir l'oasis avant même d'atteindre le haut de la première dune.

S'il croit à ses propres fictions, à celles des autres, ce n'est pas par jeu : être doué de raison, il met une raison même là où il n'en voit pas, car il sait qu'il en est une.

« Mais si notre vue s'arrête là, que l'imagination passe outre ; elle se lassera plutôt de concevoir, que la nature de fournir. » (Pascal).

Mais trop souvent, quand cela se peut, cela se doit : c'est une autre tendance naturelle de l'esprit, lorsqu'il a déjà beaucoup fait pour trouver une raison séduisante, que d'y établir son camp.

De cette nature sont les *offendicula* repérées par Francis Bacon dès 1267, les *idoles* enracinées de Francis Bacon, qui génèrent *opinionibus volatilibus*, le *roman* que Voltaire reproche à Descartes, les *fictis hypothesibus* auxquelles Newton mène une guerre sans merci.

Pour ne pas laisser, dans la marche des sciences, l'esprit être emporté par ses idées préconçues, on a donc voulu supprimer celles-ci, les éradiquer. L'expérience, les faits : voici les garants de notre sécurité. Et certes, jusqu'à un certain point, le sont-ils. Au règne des idées trop sûres a succédé celui des faits, "rien que les faits".

Mais pas davantage que l'esprit seul, qui va trop au-delà, les faits seuls, bornés dans l'en-deçà, ne sauraient nous faire atteindre la connaissance générale.

Le règne de l'empirisme ne pouvait durer. Le scientifique ne progresse pas beaucoup dans ce donjon étroit :

« Il faut nécessairement expérimenter avec une idée préconçue. L'esprit de l'expérimentateur doit être actif, c'est-à-dire qu'il doit interroger la nature et lui poser les questions dans tous les sens, suivant les différentes hypothèses qui lui sont suggérées. » (Claude Bernard, 1865, p. 52).

On a craint l'imaginaire des scientifiques, mais on a fini par admettre son rôle, on sait qu'ils savent rectifier leur pensée (Bachelard, Popper). Sans lui, la science n'avance pas.

On craint l'imaginaire des élèves en sciences : on sait l'amoindrir, le juguler. Sans lui, la classe avance quand même.

Mais comment prétendre les faire chercher, construire, si on ne les laisse pas imaginer ?

Parce que seuls les faits rectifient, on voudrait que les faits, seuls, édifient.

Les historiens, les épistémologues, des scientifiques eux-mêmes le disent : le chercheur avance avec ses idées préconçues, parfois ses idées fixes. Au laboratoire, elles s'expriment, prennent l'étendard d'hypothèses qui s'affrontent, résistent, succombent à l'argument, plient devant l'expérience.

Les psychologues, les didacticiens le disent : les élèves avancent avec leurs conceptions préétablies. Les hypothèses sont là, dans les esprits, de pied en cap, il n'est qu'à les laisser s'échapper, les cervelles se frotter.

Mais en classe, les faits, que le maître sait vainqueurs de longue date, sont déjà là, s'ils n'y sont pas, il les convoque promptement, et tout est dit, reballez lances et oriflammes.

Les trompettes des instructions officielles proclament pourtant autre chose depuis longtemps, et plus vivement encore ces derniers temps, serait-ce un signe ?

Notre outil a pu être utile dans des classes où des enseignants ont laissé se dérouler quelques escarmouches, et pourra servir encore, ou être remplacé par de meilleurs, le jour où enfin, dans l'univers scolaire et parmi d'autres approches didactiques, la guerre des mondes possibles aura lieu.

## ÉPISTÉMOLOGIE ET HISTOIRE DES SCIENCES

- ANDLER, D., FAGOT-LARGEAULT, A., SAINT-SERNIN, B. (2002) *Philosophie des sciences* (2 vol.), Gallimard.
- ARISTOTE. *Physique*, traduction et présentation par P. Pellegrin, GF Flammarion 2002.
- ARISTOTE. *Les Seconds Analytiques*, in *Organon IV*, traduction et notes par J. Tricot, Vrin, 2000.
- ARISTOTE. *Histoire des animaux*, traduction et présentation par J. Bertier, Folio essais, 1994.
- ARNAULD, A. et NICOLE, P. (1662). *La logique ou l'art de penser*, Gallimard, 1992.
- AUBENQUE, P. (1966). *Le problème de l'être chez Aristote*. PUF.
- BACHELARD, G. (1929). *La valeur inductive de la relativité*, Vrin.
- BACHELARD, G. (1932). « Noumène et microphysique », in *Études*, Vrin, 2002.
- BACHELARD, G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*, PUF, 1987.
- BACHELARD, G. (1934-1935). « Idéalisme discursif », in *Études*, Vrin, 2002.
- BACHELARD, G. (1935). *Les intuitions atomistiques*, Boivin.
- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin, 1993.
- BACHELARD, G. (1940). *La philosophie du non*, PUF, 2005.
- BACON, F. (1605). *Du progrès et de la promotion des savoirs*, Gallimard, 1991.
- BACON, F. (1620). *Novum Organum*, PUF, 1986.
- BACON, R. (1267). *Opus majus*, part 1, Kessinger Publishing, 2002.
- BACON, R. (1267). *Opus majus*, part 2, Kessinger Publishing, 2002.
- BAILLET, A. (1691). *La vie de Monsieur Descartes*. Paris, Daniel Horthemels, 1<sup>ère</sup> partie.
- BAJA, R. (1969). *La méthode biologique*, Paris, Masson et Cie.
- BARTHOLY, M.-C., DESPIN, J.-P., GRANDPIERRE, G. (1978) *La Science. Épistémologie générale*, Magnard.
- BELLONE, E. (1999). *Galilée*. Coll. « Les génies de la science », Ed. Pour la Science, novembre 1999.
- BEN MRAD, R. (2004). *Principes et causes dans les Analytiques Seconds d'Aristote*. L'Harmattan.
- BÉNÉZÉ, G. (1954) *La méthode expérimentale*, PUF, 1960.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (1989). *Lavoisier : une révolution scientifique*, in SERRES, M. (dir.), (1989).
- BERNARD, C. (1850-60) *Le cahier rouge*, NRF Gallimard, 1942.
- BERNARD, C. (1859). *Leçons sur les propriétés physiologiques et les altérations pathologiques des liquides de l'organisme*, Baillière, 1<sup>ère</sup> leçon.
- BERNARD, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Garnier-Flammarion, 1966.
- BERNARD, C. (1867). *Rapport sur les progrès et la marche de la physiologie générale en France*, Imprimerie impériale.
- BERNARD, C. *Principes de médecine expérimentale* (rédigés de 1862 à 1877), 2<sup>e</sup> éd. PUF 1987.
- BLANCHÉ, R. (1975). *L'induction scientifique et les lois naturelles*. PUF.
- BLAY, M. (2006). Concepts, faits scientifiques et théories, *Raison Présente* n°157-158, décembre 2006.
- BONNET, C. (2002). « Kant et les limites de la science », in Wagner, 2002.
- BOYLE, R. (1660). *New experiments physico-mechanicall, touching the spring of the air and its effects*, Robinson.
- BROCHARD, V. (1887). « La Méthode expérimentale chez les Anciens ». *Revue de Métaphysique et de Morale*, t. XIII, p. 37-49.
- BUFFON (1735). Préface à la traduction de la *Statique des végétaux* de Hales, Imprimerie de Monsieur, 1779.
- BUFFON (1749). *Histoire naturelle générale et particulière*, Didot & Didot, 1799.
- BUFFON (1778). *Les Époques de la Nature*, Imprimerie Royale, 1780.
- BUTTS, R. (Ed., 1968). *William Whewell's Theory of Scientific Method*, University of Pittsburgh Press.
- CANGUILHEM, G. (1952). *La connaissance de la vie*, Vrin, 1992.
- CANGUILHEM, G. (1968) *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Vrin.
- CHALMERS, A. (1976) *Qu'est-ce que la science ?*, La Découverte, 1987.
- CHALMERS, A. (1990) *La fabrication de la science*, La Découverte, 1991.
- CHAPMAN, A. (2005). *England's Leonardo: Robert Hooke and the Seventeenth-century Scientific Revolution*, CRC Press.
- CHEVREUL, M. E. (1823). *Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale*, Levraut, 1823.
- CHEVREUL, M. E. (1845) *Journal des savants*, Juin 1845, p. 321-337.
- CHEVREUL, M. E. (1850). *Journal des savants*. Février 1850, p. 72-79.
- CHEVREUL, M. E. (1856). *Lettres adressées à M. Villemain sur la méthode en général et sur la définition du mot FAIT : relativement aux sciences, aux lettres, aux beaux-arts, etc., etc.* Garnier Frères.
- CHEVREUL, M. E. (1865) *Distribution des connaissances humaines du ressort de la philosophie naturelle*, Didot.
- CHEVREUL, M. E. (1866). *Histoire des connaissances chimiques*, L. Guérin et Morgand.
- COHEN, I. B. (1960). *Les origines de la physique moderne*, Seuil, 1993.
- COHEN, I. B. (1979). Préface à l'*Opticks* de Newton, Dover Publications -406 p.
- COHEN, I. B. (1980). *The Newtonian Revolution*, Cambridge University Press.
- COMTE, A. (1830). *Cours de philosophie positive*, leçons 1 et 2, in Auguste Comte, *Philosophie des sciences*, Gallimard, 1996.

- COMTE, A. (1835). *Cours de philosophie positive*, tome 2, Bachelier.
- COMTE, A. (1844). *Discours sur l'esprit positif*, in Auguste Comte, *Philosophie des sciences*, Gallimard, 1996.
- CONDILLAC, E. B. de (1746). *Essai sur l'origine des connaissances humaines*, in *Œuvres complètes de Condillac*, Houel, 1798, tome II.
- CONDILLAC, E. B. de (1749). *Traité des systèmes*. In *Œuvres de Condillac*, vol. 2, Arnoux et Mousnier, 1798.
- CONDILLAC, E. B. de (1775). *De l'art de raisonner*, IV, 2, in *Cours d'études, Œuvres complètes de Condillac*, Houel, 1798, t. VIII.
- CONDILLAC, E. B. de (1780). *Logique ou les premiers développements de l'art de penser*. A. Delalain, 1831.
- CONDORCET (1793). *Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain*. Vrin, 1970.
- CORSI, P. (1988). *Science and Religion: Baden Powell and the Anglican Debate, 1800-1860*, Cambridge University Press, -346 p.
- CROMBIE A. C. (1952). *Histoire des sciences, de Saint Augustin à Galilée (400-1650)*. PUF, 1959.
- CROMBIE A. C. (1953). *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science*, Clarendon Press.
- CRUBELLIER, M. et PELLEGRIN, P. (2002). *Aristote. Le philosophe et les savoirs*. Points Seuil.
- CUVIER, G. (1834). *Histoire des progrès des sciences naturelles, depuis 1789 jusqu'à ce jour*, tome 3, Ed. Pourrat.
- CUVIER, G. (1841). *Histoire des sciences naturelles, depuis leur origine jusqu'à nos jours*, tome 2, Masson.
- D'ALEMBERT (1751). *Discours préliminaire de l'Encyclopédie*.
- DAREMBERG, C.-V. (1841). *Exposition des connaissances de Galien sur l'anatomie, la physiologie et la pathologie du système nerveux*. De Rignoux.
- DARWIN, C. (1876). *Autobiographie. La vie d'un naturaliste à l'époque victorienne*. Belin, 1985.
- DESCARTES, R. (1628). *Règles pour la direction de l'esprit*, LGF/Livre de Poche, 2002.
- DESCARTES, R. (1637). *Discours de la Méthode*. GF-Flammarion, 2000.
- DESCARTES, R. (1641). *Méditations métaphysiques*. GF Flammarion, 1992.
- DESCARTES, R. (1644). *Principes de la philosophie*. In *Œuvres philosophiques*, III, F. Alquié, Garnier, 1998.
- DESCARTES, R., *Œuvres : (1824-1826)*, publ. par Victor Cousin, Paris, La Chevardière fils, 11 vol. ; (1964-1974), éd. Adam-Tannery, Vrin.
- DIDEROT, D. (1749). *Lettre sur les aveugles*. In *Œuvres*, I, Robert Laffont, 1994.
- DIDEROT, D. (1753). *Pensées sur l'interprétation de la nature*. In *Œuvres*, I, Robert Laffont, 1994.
- DORION, L.-A. (1995). *Aristote : les réfutations sophistiques*, Vrin.
- DRAKE, E. T. (1996). *Restless Genius Robert Hooke and His Earthly Thoughts*, Oxford University Press.
- DUHEM, P. (1906) *La théorie physique*, Vrin 1997.
- DUHEM, P. (1908) *Σόζειν τὰ Φαινόμενα, essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*, Vrin.
- DUMAS, J.-B. (1836). *Leçons sur la philosophie chimique professées au Collège de France*, Bechet jeune, 1837.
- DURIS, P. et GOHAU, G. (1997). *Histoire des sciences de la vie*, Nathan.
- ECO, U. (1982). *Le nom de la rose*, Le Livre de Poche.
- ECO, U. (1994). *Les limites de l'interprétation*. Le Livre de Poche.
- ECO, U. (1996). *Interprétation et surinterprétation*. PUF.
- EGGER, V. (1890). *Science ancienne et science moderne*, A. Colin.
- EINSTEIN, A. (1919). "Induction et déduction en physique", in *Œuvres choisies*, vol. 5, Seuil-CNRS, 1991.
- EINSTEIN, A. (1934) *Mein Weltbild*, Ullstein, 2005.
- EINSTEIN, A. (1936). "Vitesse de la lumière et continuum espace-temps", in *Conceptions scientifiques*, Flammarion, 1990.
- EINSTEIN, A. et INFELD, L. (1936). *L'évolution des idées en physique*, Flammarion, 2000.
- ELLENBERGER, F. (1994). *Histoire de la Géologie*, tome 2, Tech. et Doc./Lavoisier.
- FEYERABEND, P. (1975) *Contre la méthode*. Seuil, 1988.
- FEYNMAN, R. (1980). *La nature de la physique*, Points Seuil.
- FONTENELLE, B de (1688). *Digression sur les Anciens et les Modernes*, in *Œuvres de Fontenelle*, 1818, Belin.
- FONTENELLE, B. de (1727). *Éloge de Newton*, in *Œuvres de Fontenelle*, tome 1, 1<sup>ère</sup> partie, Belin, 1818, p. 387-403.
- FOUREZ, G. (1988) *La construction des sciences*, De Boeck Université, 1996.
- FREDETTE, R. (2002). *D'où vient l'antiaristotélisme de Galilée ?* Québec : CIRST, mai 2002.
- GAL, O. (2002). *Meanest Foundations and Nobler Superstructures: Hooke, Newton and the Compounding of the Celestial Motions of the Planets*, Kluwer Academic Publishers.
- GALILÉE, G. (1632). *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, Points Seuil, 1992.
- GALILÉE, G. (1638). *Discours concernant deux sciences nouvelles*. PUF, 1995.
- GAYON, J. (1996) *Les réflexions méthodologiques de Claude Bernard : contexte et origines*, *Bull. Hist. Épistém. Sci. Vie*, 1996, 3 (1), p. 75-92.
- GEYMONAT, L. (1957). *Galilée*. Seuil, 1992.
- GILBERT, W. (1600). *De Magnete*. Dover, 1991.
- GIORDAN, A., dir. (1987) *Histoire de la biologie*. Technique et documentation, Lavoisier, 2 vol.
- GOHAU, G. (1978). *Biologie et biologistes*, Magnard.
- GOHAU, G. (1987). *Histoire de la géologie*, La Découverte.
- GOULD, S.J (1985). "The median isn't the message". *Discover*, 6, p. 40-42.
- GRANGER, G.-G. (1976) *La théorie aristotélicienne de la science*. Aubier.

- GRMEK, M. (1973) *Raisonnement expérimental et recherches toxicologiques chez Claude Bernard*, Droz.
- GRMEK, M. (1990) *La première révolution biologique*, Payot.
- GRMEK, M. (1991) *Claude Bernard et la méthode expérimentale*, Payot.
- GRMEK, M. (1997a). *Le chaudron de Médée. L'expérimentation sur le vivant dans l'Antiquité*, Synthélabo.
- GRMEK, M. (1997b). *Le legs de Claude Bernard*, Fayard.
- GUICCIARDINI, N. (2003). *Newton, l'horloger du monde*. « Les génies de la science », Ed. Pour la Science, 11/2003.
- GUYÉNOT, E. (1957). *Les sciences de la vie aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles*. Albin Michel.
- HACKING, I. (1999). *Entre science et réalité. La construction sociale de quoi ?* La Découverte, 2001.
- HAMBURGER, J. (dir.). (1986). *La philosophie des sciences aujourd'hui*. Gauthier-Villars.
- HAMOU, P. (2002). « Descartes, Newton et l'intelligibilité de la nature », in Wagner (2002), chapitre II.
- HARTLEY D. (1749). *Observations on man*, Thomas Tegg and Son, 1834.
- HARVEY, W. (1628). *De motu cordis*, Bourgeois 1990.
- HEINZMANN, G. (2002). « Quelques aspects de l'histoire du concept d'intuition : d'Aristote à Kant ». Département de Philosophie, LPHS—Archives H. Poincaré, UMR 7117, Université de Nancy 2.  
<http://www.univ-nancy2.fr/poincare/perso/heinzman/documents/talk2002-06-b.pdf>
- HEMPEL, K. (1966) *Éléments d'épistémologie*, Armand Colin, 1996.
- HERSCHEL, J. (1830). *Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*, University of Chicago Press, 1987.
- HOOKE, R. (1665). *Micrographia*, Courier Dover Publications, 2003.
- HOOKE, R. (1674). *An Attempt to Prove the Motion of the Earth*.  
[http://www.roberthooke.com/motion\\_of\\_the\\_earth\\_001.htm](http://www.roberthooke.com/motion_of_the_earth_001.htm)
- HOOKE, R. (1705, posth.). *The Posthumous Works of Robert Hooke containing his Cutlerian lectures and other discourses read at the Meetings of the Illustrious Royal Society*, Richard Waller (ed.), Sam. Smith and Benj. Walford.
- HUISMAN, D. et VERGEZ, A. (1994). *Philosophie, tome 2 : La connaissance*, Marabout.
- HUME, D. (1739). *Traité de la nature humaine*. John Noon.
- HUME, D. (1740). *An Abstract of a treatise of Human nature*, the University Press, 1938.
- INHELDER, B., SINCLAIR, H., et BOVET, M. (1974). *Apprentissage et structures de la connaissance*, PUF.
- JACOB, F. (1970). *La logique du vivant*, Gallimard.
- JACOB, F. (1981). *Le jeu des possibles*, Fayard.
- JACOB, F. (1987). *La statue intérieure*, Odile Jacob.
- JACQUART D. (2003). « Le moyen âge de la science occidentale », in *Les sciences au moyen âge*, Dossier Pour la Science, 2003.
- JAEGER, W. (1923). *Aristoteles. Grundlegung einer Geschichte seiner Entwicklung*, Weidmann.
- JARDINE, L. (2003). *The curious life of Robert Hooke*, Perennial, HarperCollins.
- JARROSSON, B. (1992) *Invitation à la philosophie des sciences*, Seuil.
- KANT, I. (1781, 2<sup>e</sup> éd. 1787). *Critique de la raison pure*, PUF, 1986.
- KANT, I. (1800). *Logique*, introduction, IV, traduction de M. Tissot. De Ladrangé, 1862.
- KEPLER, J. (1596). *Le secret du monde*. Gallimard, 1984.
- KEPLER, J. (1604). *Paralipomènes à Vitellion*. Vrin, 1980.
- KEPLER, J. (1609). *Astronomie Nouvelle*, Albert Blanchard, 1986.
- KOESTLER, A. (1960). *Les somnambules*. Calmann-Lévy.
- KOLLERSTROM, N. (1999). "How Newton Failed to Discover the Law of Gravity", *Annals of Science*, 59, p. 331–356.
- KOYRÉ, A. (1939) *Études galiléennes*. Hermann, 1966.
- KOYRÉ, A. (1957) *Du monde clos à l'univers infini*. Gallimard, 2003.
- KOYRÉ, A. (1961). *Études d'histoire de la pensée philosophique*. Gallimard, 2006.
- KOYRÉ, A. (1966). *Études d'histoire de la pensée scientifique*. Gallimard, 1998.
- KOYRÉ, A. (1968) *Études newtoniennes*. Gallimard.
- KREMER-MARIETTI, A. (1999). *Philosophie des sciences de la nature*, L'Harmattan, 2007.
- KUHN, T. S. (1958). Introduction à Cohen, I. B. (ed., 1958), *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*, Harvard University Press.
- KUHN, T. S. (1962) *La Structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, 1999.
- KUHN, T. S. (1975). « Tradition mathématique et tradition expérimentale dans le développement de la physique », *Annales*, vol. 30, n°5, p. 975-998.
- LA FONTAINE (1679). *Les Deux Rats, le Renard et l'Œuf*.
- LAKATOS, I. (1978). *Histoire et méthodologie des sciences*, PUF, 1994.
- LALANDE, A. (1929). *Les théories de l'induction et de l'expérimentation*, Boivin & Cie.
- LAPLACE, P. S. (1796). *Exposition du système du monde*, Courcier, 1813.
- LASZLO, P. (1999) *La découverte scientifique*, PUF.
- LAUDAN, L. (1968). "Theories of Scientific Method from Plato to Mach," *History of Science*, 7: 1-63.
- LAUDAN, L. (1981). *Science and hypothesis*, Reidel.
- LAVOISIER, A.-L. (1777). *Mémoire sur la combustion en général*, in *Œuvres de Lavoisier*, J.-B. Dumas, Imprimerie impériale, 1862, t. 2, p. 225-233.
- LAVOISIER, A.-L. (1789). *Traité élémentaire de chimie*. Cuchet, 1793.

- LAVOISIER, A.-L. (1792). *Détails historiques sur la cause de l'augmentation de poids* (1794, posthume), in *Mémoires de Lavoisier*, in *Œuvres de Lavoisier*, J.-B. Dumas, Imprimerie impériale, 1862, t. 2.
- LE BLOND, J.M. (1939). *Logique et méthode chez Aristote*. Vrin.
- LE DŒUFF, M. (1985). « L'espérance dans la science », In MALHERBE, M. et POUSSEUR, J.-M. (Ed.) (1985). *Francis Bacon science et méthode*, Vrin.
- LE DŒUNFF, M. (1991). Préface de BACON, F. (1605). *Du progrès et de la promotion des savoirs*. Gallimard.
- LE DŒUNFF, M. (1996). BACON (chancelier F.) *Encyclopædia Universalis*.
- LE RU, V. (1994). *D'Alembert philosophe*, Vrin.
- LE RU, V. (2005). *Voltaire newtonien*, Vuibert / Adapt.
- LECLERQ, R. (1960) *Histoire et avenir de la méthode expérimentale*, Masson.
- LÉVY, P. (1970). *Quelques aspects de la pensée d'un mathématicien*, A. Blanchard.
- LIEBIG, J. (1866). *Lord Bacon*, Guérin.
- LITTRÉ, E. (1872). *Médecine et médecins*, Didier.
- LLOYD, G. E. R. (1974). *Une histoire de la science grecque*, Points Seuil, 1990.
- LLOYD, G. E. R. (1979). *Origines et développement de la science grecque*, Champs Flammarion, 1990.
- LOCKE, J. (1693). *Quelques pensées sur l'éducation*, Vrin, 2007.
- LOEWI, O. (1960) An Autobiographic Sketch, Univ. of Chicago Press.
- LOMBARDI, A. M. (2001). *Kepler, le musicien du ciel*. Coll. « Les génies de la science », Pour la Science, 08/ 2001.
- LOSEE, J. (1972). *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*, Oxford University Press, 2001.
- MALHERBE, M. (1985). « L'expérience et l'induction chez Bacon », In MALHERBE, M. et POUSSEUR, J.-M. (Ed.) (1985). *Francis Bacon science et méthode*, Vrin.
- MARENBOON, J. (Ed., 1998). *Medieval philosophy*, Routledge.
- MAURY, J.-P. (1990). Newton et la mécanique céleste. *Gallimard*.
- MAYR, E. (1982) *Histoire de la biologie*, Fayard, 1995.
- MAZLIAK, P. (2006). *La biologie au siècle des lumières*, Vuibert Adapt.
- MEDAWAR, P.B. (1963). "Is the scientific paper a fraud ?", in *The threat and the glory*, OUP, 1990, p. 228-233.
- MEDAWAR, P.B. (1967). *The Art of the Soluble*, Methuen & Co Ltd.
- MEDAWAR, P.B. (1968). *Lucky Jim*, in *The Hope of Progress*, p. 101-109.
- MEDAWAR, P.B. (1969). *Induction and intuition in scientific thought*, American Philosophical Society.
- MEDAWAR, P.B. (1972). *The Hope of Progress*, Methuen & Co Ltd.
- MEDAWAR, P.B. (1996). *The Strange Case of the Spotted Mice and Other Classic Essays on Science*, Oxford University Press.
- MILL, J. S. (1843-65). *Système de logique inductive et déductive*, sixième édition, Ladrance, 1866.
- MINOIS, G. (2000). *Galilée*, Que sais-je ?, PUF.
- MONOD, J. (1970). *Le hasard et la nécessité*. Points Seuil.
- MONOD, J. (1973). Préface à la traduction de *La logique de la découverte scientifique* de Popper, Payot.
- NEWMAN, W. (2008). « Newton et la transmutation des métaux », *La Recherche* n°416, février 2008.
- NEWTON, I. (1687, 1713, 1726). *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, trad. E. du Châtelet, tome II, Desaint & Saillant, 1759.
- NEWTON, I. (1704, 1717). *Optique*, trad. J.-P. Marat, Leroy, 1787.
- NEWTON, I. (1715). "An Account of the book the entitled *Commercium Epistolicum*", *Philosophical Transactions* n° 342, p. 173-224.
- NICOLLE, C. (1932). *Biologie de l'invention*, Félix Alcan.
- NICOLLE, J.-M. (1994) *Histoire des méthodes scientifiques*, Bréal.
- OLDROYD, D. (1972). "Robert Hooke's Methodology of Science as Exemplified in His Discourse of Earthquakes". *British Journal for the History of Science*, vol. 6, n°22, 109-130.
- OLDROYD, D. (1986) *The Arch of Knowledge*. Kensington (Australie) : NSW University Press.
- OLSON, R. (1975). *Scottish Philosophy and British Physics 1750-1780*. Princeton University Press.
- ONG-VAN-CUNG, K.S. (2002). "Aristote : l'étude de la nature, ses objets et sa méthode ». In Goddard, J.-C. (coord., 2002). *La nature. Approches philosophiques*, Vrin.
- OWEN, G. E. L. (1968). "The Platonism of Aristotle", in Strawson, P. F. (1968), *Studies in the Philosophy of Thought and Action*, Oxford University Press.
- PASTEUR, L. (1866). "Claude Bernard. Idée de l'importance de ses travaux, de son enseignement et de sa méthode". *Le Moniteur universel* n° 311 du 7-11-1866, repris par Jean Rostand dans Cl. Bernard, *Morceaux choisis*, Paris, 1938.
- PASTEUR, L. *Œuvres de Pasteur*, réunies par Pasteur Vallery-Radot, Masson, 7 tomes, 1922-1939.
- PELLEGRIN, P. (1998). *Galien. Traités philosophiques et logiques*, Flammarion.
- PÉREZ-RAMOS, A. (1993). Francis Bacon and man's two-faced kingdom, in G. H. R. Parkinson (Ed., 1993), *The Renaissance and Seventeenth-Century Rationalism*, Routledge History of Philosophy, Volume 4.
- PLATON. *La République*, traduction et présentation G. Leroux, GF Flammarion, 2004.
- PLATON. *Ménon*, traduction et présentation M. Canto-Sperber, GF Flammarion, 1999.
- PINET, P. (2004). *Pasteur et la philosophie*, L'Harmattan.
- POINCARÉ, H. (1902). *La Science et l'hypothèse*, Flammarion.
- POINCARÉ, H. (1905). *La valeur de la science*, Paris, Flammarion, 1970.

- POPPER, K. (1934). *La logique de la découverte scientifique*, Payot, 1989.
- POPPER, K. (1963). *Conjectures et réfutations*, Payot, 1994.
- POPPER, K. (1979). *La connaissance objective*. Flammarion.
- PRIGOGINE, I. et STENGERS, I. (1978). *La nouvelle Alliance*, Gallimard, Folio/essais, 1986.
- PREVOST, P. (1805). *Notice de la vie et des écrits de George-Louis Le Sage*, J. J. Paschoud.
- RAFTOPOULOS, A. (1999). "Newton's Experimental Proofs as Eliminative Reasoning", *Erkenntnis*, Springer Netherlands, vol. 50 n° 1, janvier 1999.
- REICHENBACH, H. (1930), "Kausalität und Wahrscheinlichkeit", *Erkenntnis* I, 158-188.
- REICHENBACH, H. (1939). « Dewey's theory of science », in Schilpp, P. A. (Ed.) (1939). *The philosophy of John Dewey*, Northwestern University, p. 157-192.
- REID, T. (1785). *Essais sur les facultés intellectuelles de l'homme*, in *Œuvres complètes*, t. 3 et t. 5, Sautetlet, 1828-1829.
- RÉMUSAT, Ch. de (1857). *Bacon, sa vie, son temps, sa philosophie et son influence jusqu'à nos jours*, Didier.
- ROHAULT, J. (1671). *Traité de physique*, Veuve de J.-B. Guillimin, 1696.
- RONAN C. (1983). *Histoire mondiale des sciences*. Points Seuil, 1988.
- ROSMORDUC, J. (1985) *Une histoire de la physique et de la chimie*, Seuil.
- ROSTAND, J. (1945) *Esquisse d'une histoire de la biologie*, Gallimard, 1973.
- RUSSELL, B. (1931). *L'esprit scientifique et la science dans le monde moderne*, J.B. Janin, 1947.
- SAGAN, C. (1996). *The demon-haunted world*, Ballantine, 1997.
- SAINT-SIMON (1802). *Lettres d'un habitant de Genève à ses contemporains*, In Hubbard, M. G. (1857). *Saint-Simon, sa vie et ses travaux*, Guillaumin, p. 117-152.
- SAINT-SIMON (1813). (1813a) *Mémoire sur la science de l'homme* ; (1813b) *De la physiologie sociale*. In *La physiologie sociale. Œuvres choisies*. PUF, 1965.
- SARGENT, R.-M., (1995). *The Diffident Naturalist: Robert Boyle and the Philosophy of Experiment*, University of Chicago Press.
- SARTON, G. (1970) *A history of science*, The Norton Library.
- SCHLANGER, J. (1971). *Les métaphores de l'organisme*, L'Harmattan, 1995.
- SCHLEIDEN, M. J. (1838). *Beiträge zur Phytogenesis* (1838).
- SCHUSTER, A. (1904). *An introduction to the theory of optics*, Ed. Edw. Arnold.
- SENEBIER, J. (1783) *Expériences sur la digestion de l'homme et de différentes espèces d'animaux ; par l'abbé Spallanzani, avec des considérations sur la méthode de faire des expériences*, B. Chirol, Genève.
- SENEBIER, J. (1802) *Essai sur l'art d'observer et de faire des expériences*, Tomes I, II et III. J.-J. Paschoud, an X.
- SERRES, M. (dir.), (1989). *Éléments d'histoire des sciences*, Larousse, 1997.
- SHAPIN, S. (1996) *La révolution scientifique*, Flammarion, 1998.
- SHAPIRO, A. E. (ed., 1984). *The Optical Papers of Isaac Newton*, Cambridge University Press, volume 1.
- SHAPIRO, A. E. (2004). "Newton's 'experimental philosophy'", *Early Science and Medicine*, 9 (3), p. 185-217.
- SHEA, W. (1972) *La révolution galiléenne*. Le Seuil, 1992.
- SINGER, C. (1934). *Histoire de la biologie*. Payot.
- SORTAIS, G. (1920). *La philosophie moderne depuis Bacon jusqu'à Leibniz*, tome 1, Lethielleux.
- STENGERS, I., et SCHLANGER, J. (1988). *Les concepts scientifiques*, Gallimard, 1991.
- STENGERS, I. (1993). *L'invention des sciences modernes*, Flammarion, 1995.
- STEWART, D. (1792). *Elements of the Philosophy of the Human Mind*, vol. I, in *The Collected Works of Dugald Stewart*, vol. II, Thomas Constable and Co., 1854.
- STEWART, D. (1803). Vie de Reid, in *Œuvres complètes de Thomas Reid*, publiées par Jouffroy, Masson, 1836, t. 1.
- STEWART, D. (1814). *Éléments de la philosophie de l'esprit humain*, vol. 2, Hachette, 1843.
- TAYLOR, G. R. (1963). *Histoire illustrée de la biologie*, Hachette.
- THÉODORIDÈS, J. (1965) *Histoire de la biologie*, PUF.
- THOM, R. (1986) *La méthode expérimentale, un mythe des épistémologues (et des savants ?)*, in Hamburger, J. (dir.). *La philosophie des sciences aujourd'hui*, Gauthier-Villars.
- THUILLIER, P. (1983). « Galilée et l'expérimentation ». *La Recherche* n°143, avril 1983.
- TOULMIN, S. (1961) *L'explication scientifique*, Armand Colin, 1973.
- TRICOT, J. (2000). Introduction, in Aristote, *Seconds Analytiques*, Vrin.
- VERHAEGHE, J.-C., WOLFS, J. L., SIMON, X., COMPÈRE, D. (2004) *Pratiquer l'épistémologie*. De Boeck.
- VERSINI, L. (1994). Diderot, *Œuvres*, préface, Robert Laffont.
- VOLTAIRE (1734). *Lettres philosophiques*. Gallimard, 1986.
- VOLTAIRE (1738). *Éléments de la philosophie de Newton*, in *Œuvres complètes*, tome XV, critical edition by R.L. Walters and W.H. Barber, The Voltaire Foundation Taylor Institution, 1992.
- VOLTAIRE (1764). « De François Bacon, et de l'attraction », in *Dictionnaire philosophique*, t. 2, Lequien fils, 1829. P. 261-268.
- WAGNER, P. (dir.) (2002) *Les philosophes et la science*, Gallimard.
- WATSON, J. (1968). *La double hélice*. Seuil.
- WESTFALL, R. S. (1980). *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*. Cambridge University Press.
- WEYL, H. (1931). *The Theory of Groups and Quantum Mechanics*, Dover Publications, 1950.

- WHEWELL, W. (1840a). *The Philosophy of the Inductive Sciences Founded Upon Their History*, Parker, Volume the first, 1847 : livres I à X.
- WHEWELL, W. (1840b). *The Philosophy of the Inductive Sciences Founded Upon Their History*, Parker, Volume the second, 1840 : livres XI à XIII.
- WHEWELL, W. (1860) *On the Philosophy of Discovery*. B. Franklin, New York, 1971.
- WOLFF, E. (1963). *Les chemins de la vie*. Hermann.
- WOLFF, F. (2000). « Les principes de la science chez Aristote et Euclide ». *Revue de métaphysique et de morale*, n°3, p. 329-362.

## DIDACTIQUE ET PSYCHOLOGIE

- ABELL, S. K. & LEDERMAN, N. G. (Eds, 2007). *Handbook of Research on Science Education*, Routledge -1330 p.
- ABELL, S. K., & SMITH, D. C. (1994). "What is science? Preservice elementary teachers' conceptions of the nature of science". *International Journal of Science Education*, 16, 475-487.
- AMERINE, R. & BILMES, J. (1988). "Following instructions". In Lynch, M. & Woolgar, S. (Eds., 1988), *Representation in scientific practice*, MIT Press, p. 323-335.
- ASTER Collectif (1987). *Didactique et histoire des sciences*, INRP, n° 5.
- ASTER Collectif (1991), (VÉRIN, A., coord.). *L'élève épistémologue*, INRP, n°12.
- ASTOLFI, J.-P., CAUZINILLE E., GIORDAN A., HENRIQUES A., MATHIEU J., WEIL A. (1984). *Expérimenter : sur les chemins de l'explication scientifique*, Privat.
- ASTOLFI, J.-P. et DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences*, Que Sais-je ? n° 2448.
- ASTOLFI, J.-P. (1990). « L'émergence de la didactique de la biologie, un itinéraire ». *Aster* n° 11.
- ASTOLFI, J.-P. (1992). « Expérimenter », in Hassenforder, J. (dir.) (1992). *Chercheurs en éducation*, L'Harmattan.
- ASTOLFI, J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*, ESF.
- ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI, B. VÉRIN, A. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences*, Retz.
- ASTOLFI, J.-P. (2002). « L'œil, la main, la tête ». *Expérimenter, Cahiers pédagogiques* n°409.
- ASTOLFI, J.-P. (2005). « Construire le savoir scientifique par l'expérimentation ? » *Résonances* No 8, mai 2005.
- AUSUBEL, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart & Winston.
- AYÇAGUER-RICHOUX, Hélène (2000). *Rôle des expériences quantitatives dans l'enseignement de la physique au lycée*. Thèse de Doctorat d'Université : Didactique des disciplines, Université de Paris 7- Denis Diderot.
- BAIN, A. (1879). *Education as a Science*, Elibron Classics, 2001.
- BALACHEFF, N. (1988). « Le contrat et la coutume, deux registres des interactions didactiques. » In : C. Laborde (Ed.) *Premier Colloque Franco-Allemand de Didactique des Mathématiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- BARBERÁ, O. et VALDÉS, P., (1996). "El Trabajo Práctico en la Enseñanza de las Ciencias : una revision." *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (3), p. 365-379.
- BARROW, L.H. (2006) "A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards". *Journal of Science Teacher Education*, 17, p. 265-278.
- BEAUFILS, D. (2001). *Utilisation de logiciels de simulation comme aide à la consolidation des connaissances en physique*. Rapport d'étude, DidaScO (laboratoire de didactique des sciences d'Orsay).
- BINET, A. (1909). *Les idées modernes sur les enfants*, Flammarion.
- BLEICHER, R. E. (1994). "High school students as apprentices in university research laboratories", *Australian Association for Research in Education (AARE) Conference 1994 – Abstracts*, <http://www.aare.edu.au/abs94.htm>
- BOMCHIL, S. et DARLEY, B. (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ? *Aster* 26, INRP.
- BOYER, R. et TIBERGHIE, A. (1989). "Des opinions de professeurs d'élèves sur l'enseignement des sciences Physiques au lycée", *Bulletin de l'Union des Physiciens* n° 712.
- BRICKHOUSE, N.W. (1989). "The teaching of the philosophy of science in secondary classrooms: Case studies of teachers' personal theories". *International Journal of Science Education*, 11, 401-415.
- BRICKHOUSE, N.W. (1990). Teachers' beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, 41, 53-62.
- BROUSSEAU, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques, in: *Recherche en didactique des mathématiques*, 7 (2), p.33-114. Repris dans: Brun, Jean (dir.) (1996). *Didactique des mathématiques*. Paris & Neuchâtel, Delachaux & Niestlé, p.45-97.
- BROUSSEAU, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble, la Pensée Sauvage.
- BRUNER, J. S. (1961). "The act of discovery". *Harvard Educational Review* 31 (1), p. 21-32.
- BRUNER, J.S. (1960). *The Process of Education*, Harvard University Press, -97 p.
- BRUNET, P. (1996). *Le statut de l'expérimental dans l'enseignement de la biologie*. Mémoire de DEA : ENS Cachan.
- BRUNET, P. (1998). « Enseigner et apprendre par problèmes scientifiques dans les sciences de la vie. État de la question. » *Aster* n°27, INRP.
- BUISSON, F. (1887 et 1911), *Nouveau Dictionnaire de pédagogie et d'instruction primaire*, Hachette.
- CARIOU, J.-Y. (2002). « La formation de l'esprit scientifique - trois axes théoriques, un outil pratique : DiPHTeRIC », *Biologie-Géologie* n°2-2002, APBG.
- CAUSTIER, E. (1905). « L'enseignement des sciences naturelles dans le premier cycle », in Hulin, 2002.
- CHARPAK, G. (2004), « puRkwa, notre contribution à la démocratie », *Ressorts* n°5, ENS des Mines de Saint-Etienne.
- CHEVALLARD, Y. & JOSHA, M.-A. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- CHINN, C. A., & MALHOTRA, B. A. (2002). "Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks". *Science Education*, 86(2), p. 175-218.

- CLAPARÈDE, E. (1905). *Psychologie de l'enfant et pédagogie expérimentale. II. Les méthodes*, Delachaux et Niestlé, 1967.
- CLAPARÈDE, E. (1913). « Discat a puero magister ». *Bulletin trimestriel de l'Amicale primaire de l'Ain*, oct. 1913.
- CLAPARÈDE, E. (1917). « La psychologie de l'intelligence ». *Scientia*, vol. 22, 1917, pp. 353 - 368.
- CLAPARÈDE, E. (1919). « Les nouvelles conceptions éducatives et leur vérification par l'expérience », *Scientia*, vol. 25.
- CLAPARÈDE, E. (1923). « La psychologie de l'école active », *L'Éducateur*, LIX (23), 371-379, cité in Hameline, 1995.
- CLAPARÈDE, E. (1933). *La genèse de l'hypothèse*, Genève, librairie Kundig, 1934.
- CLÉMENT, P. (1998). « La biologie et sa didactique, dix ans de recherche », *Aster* n° 27.
- COHEN-TANNOUDI, C. (2004) « La démarche scientifique développe le respect de l'autre », *Ressorts* n°5, ENS des Mines de Saint-Etienne, p. 5.
- COQUIDÉ, M. (1998). « Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles ». *Aster* n° 26.
- COMENIUS, J. A. (1632). *La grande didactique*, Klincksieck, 1992.
- COMENIUS, J. A. (1657). *Orbis pictus*, Kessinger Publishing, 1999.
- CUEVAS, P., LEE, O. HART, J. & DEAKOR, R. (2005). "Improving Science Inquiry with Elementary Students of Diverse Backgrounds", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 42, no. 3, p. 337-357.
- DARLEY, B. (1993). « Options épistémologiques exprimées par les enseignants-chercheurs et les enseignants du secondaire sur la démarche expérimentale ». In Giordan, A., Martinand, J.-L., Raichvarg, D. (éds), *Actes des XV<sup>es</sup> Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Techniques de Chamonix* (pp. 537-544). LIREST, Université de Paris 7.
- DARLEY, B. (1996). « Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en Deug 2<sup>ème</sup> année ». *Didaskalia* Volume 9, décembre 1996, pp. 31-56.
- DE GUMPS, R. (1860). *La Philosophie et la pratique de l'éducation*. A. Durand.
- DE VECCHI G. (1992). *Aider les élèves à apprendre*, Hachette Éducation.
- DE VECCHI, G., CARMONA-MAGNALDI, N. (1996). *Faire construire des savoirs*, Hachette Éducation.
- DE VECCHI, G., CARMONA-MAGNALDI, N. (2002). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*, Hachette Éducation.
- DE VECCHI, G. (2004). *Une banque de situations-problèmes tous niveaux*, tome I, Hachette Éducation.
- DE VECCHI, G. (2006). *Enseigner l'expérimental en classe*. Hachette Éducation.
- DE VECCHI, G. et RONDEAU-REVELLE, M. (2007). *Traiter les programmes avec plus de sérénité*, Delagrave.
- DEBOER, G.E. (1991). *A History of Ideas in Science Education*. New York : Teachers College Press.
- DELEDALLE, G. (1995), *John Dewey*, PUF.
- DEMOUNEM, R. & ASTOLFI, J.-P. (1996). *Didactique des sciences de la vie et de la Terre*. Nathan.
- DÉSAUTELS, J. & NADEAU, R. (1984). *Épistémologie et didactique des sciences*. Conseil des sciences du Canada.
- DÉSAUTELS, J. (1980). *Ecole + Science = Echec*. Québec Science Editeur.
- DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B. & RUEL, F. (1993). « La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique. ». *Didaskalia* n°1, septembre 1993.
- DEVELAY, M. (1989). « Sur la méthode expérimentale », *Aster*, 8, INRP.
- DEVELAY, M. (2001). *Propos sur les sciences de l'éducation*, ESF, 2004.
- DEWEY, J. (1884). "The New Psychology", *Andover Review*, 2, 278-289.
- DEWEY, J. (1896), "Interest in relation to training of the will", in Deledalle, G. (1995), p. 46-63.
- DEWEY, J. (1897), *My pedagogical creed*, trad. "Mon credo pédagogique", in Deledalle, G. (1995), pp. 111-125.
- DEWEY, J. (1909a). *How we think*, Prometheus Books, 1991.
- DEWEY, J. (1909b). *Comment nous pensons*, traduction Ovide Decroly, Les empêcheurs de penser en rond, 2004.
- DEWEY, J. (1910). "Science as Subject-Matter and as Method", *Science* 31 (787), p. 121-127, reproduit in *Science & Education* 4, p. 391-398, 1995.
- DEWEY, J. (1915). *Les écoles de demain*. Flammarion, 1931.
- DEWEY, J. (1938). *Logique, la théorie de l'enquête*, trad. G.Deledalle, PUF, 1967.
- DRIVER, R. (1986). « Psicologia Cognocitiva y Esquemas Conceptuales de los Alumnos ». *Ensenanza de las Ciencias*, 4 (1), p. 3-15.
- DUCRET, J.-J. (2004). *Méthode clinique-critique piagetienne*. (Genève, SRED).
- DUMAS-CARRÉ, A., CAILLOT, M., MARTINEZ TORREGROSSA, J. & GIL, D. (1989). « Deux approches pour modifier les activités de résolution de problèmes en physique dans l'enseignement secondaire : une tentative de synthèse ». *Aster* n°8, INRP.
- DUPONT, M. (1992). « Quelques problèmes posés par l'évaluation des raisonnements en sciences chez les élèves ». *Aster* n°15.
- DUSCHL, R.A. & WRIGHT, E. (1989). "A case study of high school teachers' decision-making models for planning and teaching science". *Journal of Research in Science Teaching*, 26, pp. 467-502.
- DUSCHL, R.A., & GITOMER, D.H. (1997). "Strategies and challenges to changing the focus of assessment and instruction in science classrooms". *Educational Assessment*, 4(1), p. 37-73.
- FABRE, D. (1995). « Conceptions de l'erreur et rupture épistémologique ». *Revue française de pédagogie*.
- FABRE, M. (1999). *Situations-problèmes et savoirs scolaires*, Paris, PUF.

- FERRIÈRE, A. (1946). *L'École active*, Fabert, 2004.
- FILLON P. & MONCHAMP A. (1995). *Articulation Troisième-Secondaire*. Projet de rapport de recherche INRP, volet Sciences physiques et biologiques (non publié).
- FREINET, C. (dir.) (1962). *L'enseignement des sciences*. Bibliothèque de l'École Moderne, 11-12.
- FURIO MAS, J. C., BARRENETXEA, J.I. & REYES MARTIN, J.V. (1994). « La "résolution de problèmes comme recherche" : Une contribution au paradigme constructiviste de l'apprentissage des sciences ». *Aster* n°19.
- GEDDIS, A. N. (1988). "Using concepts from epistemology and sociology in teacher supervision". *Science Education*, 72 (1), p. 1-18.
- GESS-NEWSOME, J., & LEDERMAN, N. G. (1995). "Biology teacher's perceptions of subject matter structure and its relationship to classroom practice". *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 301-325.
- GIDDEY, V. (1991). *L'éducation, fille de l'histoire*, Ed. Cabedita.
- GIL, D. (1991). « ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? ». *Enseñanza de las ciencias*, 9 (1).
- GIL-PÉREZ D. (1993). « Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique ». *Aster* 17, INRP.
- GIORDAN, A. (1976). *Rien ne sert de courir, il faut partir à point*. Thèse (Paris V et Paris VII).
- GIORDAN, A. (coord.) (1978a). ASTOLFI, J.-P., GIORDAN, A., GOHAU, G., HOST, V., MARTINAND, J.-L., RUMELHARD, G., ZADOUNAÏSKY, G. (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?* PUF.
- GIORDAN, A. (1978b). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Centurion.
- GIORDAN, A. & DE VECCHI, G. (1987). *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé.
- GIORDAN, A. & DE VECCHI, G. (1989). *L'Enseignement scientifique : Comment faire pour que "ça marche" ?*, Z'Éditions, 1996.
- GIORDAN, A. & GIRAULT, Y. (1994). *Les aspects qualitatifs de l'enseignement des sciences dans les pays francophones*, UNESCO.
- GIORDAN, A., GUICHARD, F., GUICHARD, F. (1997). *Des idées pour apprendre*, Z'Éditions.
- GIORDAN, A. (1998). *Apprendre !* Belin.
- GIORDAN, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Belin.
- GIORDAN, A. (2002). « C'est quoi ? Maîtresse... » *Cahiers pédagogiques* n°409, 12/2002.
- GOHAU, G. (1965). « Valeur et place de l'expérience ». *Biologie Géologie*, bulletin APBG n°3-1965.
- GOHAU, G. (1971). « Nous sommes tous des dogmatiques ». *Raison présente* n°20, octobre-décembre 1971.
- GOHAU, G. (1976). « Deux esprits scientifiques », *Cahiers pédagogiques* n° 141.
- GOHAU, G. (1977). « Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences ». *Aster* n°5, INRP, 1987.
- GOHAU, G. (1983). « Faut-il raisonner logiquement ? (Actualité de la redécouverte) ». *Cahiers Pédagogiques* n° 214, mai 1983.
- GOHAU G. (2000). « De la preuve négative », in Rumelhard, G. (Ed.), *Les formes de causalité dans les sciences de la vie et de la terre*. Documents et travaux de recherche en éducation n°41, INRP, p. 23-41.
- GOHAU, G. (2002). « Redécouverte d'hier et d'aujourd'hui ». In Hulin, N. (éd.), 2002.
- GOHAU, G. (2006). « Enseigner l'histoire des sciences, pourquoi ? », *Cahiers Rationalistes* n°580, janvier-février 2006, p. 28-39.
- GORDON, D. (1984). « The Image of Science, Technological Consciousness and Hidden Curriculum ». *Curriculum Inquiry*, 14 (4), 367-400.
- GRIZE, J.-B. (1992). « Sur la nature du discours d'information scientifique ». *Aster* n°14, INRP.
- GROSBOIS, M., RICCO, G., SIROTA, R. (1992). *Du laboratoire à la classe, le parcours du savoir. Étude de la transposition didactique du concept de respiration*. Paris : Adapt.
- GUEDJ, M. (2005). « Utiliser des textes historiques dans l'enseignement des sciences physiques en classe de seconde des lycées français : compte rendu d'innovation ». *Didaskalia* n°26.
- GUICHARD, J. (1998) *Observer pour comprendre*, Hachette Éducation.
- GUILBERT, L. & MELOCHE, D. (1993). « L'idée de science chez des enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ? » *Didaskalia*, n° 2, 7-30.
- HAMELINE, D., JORNOD, A. et BELKAÏD, M. (1995). *L'école active. Textes fondateurs*, PUF.
- HAMELINE, D. (1993). "Édouard Claparède (1873-1940)". *Perspectives : revue trimestrielle d'éducation comparée* (UNESCO : Bureau international d'éducation), vol. XXIII, n° 1-2, mars-juin 1993, p. 161-173.
- HÉBRARD, J. (1996). *Petite histoire de l'enseignement des sciences à l'école primaire*, in *La main à la pâte*, Flammarion, p. 122.
- HÉRAIL, P. (1959). "Méthode expérimentale et cryptodogmatisme", *Bull. Union des Naturalistes*, 3-1959.
- HERRON, M.D. (1971). "The nature of scientific inquiry". *School Review* 79(2), p. 171-212.
- HODSON, D. (1988). "Toward a philosophically more valid science curriculum". *Science Education* 72 (1), p. 19-40.
- HODSON, D. (1993). "Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science". *Studies in Science Education*, 22, p. 85-142.
- HOFSTEIN, A & LUNETTA, V. N. (2004). "The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century". *Science Education*, vol. 88, n°1, p. 28-54.
- HOST, V. (1973). « L'initiation à la méthode scientifique : l'étude de la nature », in Legrand L., *Pédagogie fonctionnelle pour l'école élémentaire*, t. 2, Nathan.
- HOST, V. (1980). « Les Opérations intellectuelles en activités d'éveil scientifiques », *Repères* n°58, INRP.

- HOST, V. (1998). *Évolution de l'enseignement scientifique en France depuis un siècle*, présenté par Jeannine Deunff et Jean-Michel Host, <http://www.paysdelaloire.iufm.fr/IMG/pdf/host.pdf>
- JOHSUA, S. (1989). « Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire », *Aster* n°8, INRP.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993) *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, PUF.
- KOULALDIS, V. & OGBORN, J. (1989). "Philosophy of Science : An Empirical Study of Teacher's Views", *International Journal of Science Education*, 11 (2), p. 173-184.
- LACOMBE, G. (1987). « Pour l'introduction de l'histoire des sciences dans l'enseignement du second cycle », *ASTER* n°5, INRP, p. 87-116.
- LACOMBE, G. (1989). « Prendre le bâton de l'expérience... », *ASTER* n°8, INRP, p. 17-28.
- LAKIN, S. & WELLINGTON, J. (1994). "Who will teach the 'nature of science?': teachers' views of science and their implications for science education". *International Journal of Science Education*, 16 (2), p. 175-190.
- LALANNE, J. (1985) « Le développement de la pensée scientifique (orientation biologique) chez les enfants de 6 à 14 ans ». *Aster*, 1. INRP.
- LANGEVIN, P. (1904). "L'esprit de l'enseignement scientifique", in Hulin, N. (2000), p. 285-300.
- LANTZ, O. & KASS, H. (1987). "Chemistry teacher's functional paradigms". *Science Education*, 71, 117-134.
- LEBEAUME, J. (2003). « Histoire et épistémologie des disciplines : quel projet pour la formation des maîtres ? » *Didaskalia* n° 23, p. 133-145.
- LEDERMAN, N.G. & DRUGER, M. (1985). "Classroom factors related to changes in students' conceptions of the nature of science". *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 649-662.
- LEDERMAN, N.G., & ZEIDLER, D.L. (1987). "Science teachers' conceptions of the nature of science: Do they really influence teaching behavior?" *Science Education*, 71, 721-734.
- LEDERMAN, N.G. (1992). "Students' and teachers' conceptions about the nature of science: A review of the research". *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331-359.
- LEROY, G. (1970). *Le dialogue en éducation : Enquête sur le dialogue scolaire*, PUF.
- LUNETTA, V.N., HOFSTEIN, A. & CLOUGH, M.P. (2007). "Learning and Teaching in the School Science Laboratory: An Analysis of Research, Theory and Practice", p. 393-442, in Abell & Lederman (Eds, 2007).
- MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND, J.-L. (1993). « Histoire et didactique de la physique et de la chimie: quelles relations ? » *Didaskalia* n°2.
- MARTINAND, J.-L. (2002). « Faut-il vraiment faire rencontrer les grandes œuvres scientifiques et techniques à tous les élèves ? » *Cahiers pédagogiques*, n° 402.
- MATHY, P. (1997) *Donner du sens aux cours de sciences*, de Boeck Université.
- MATTHEWS, M.R. (1994) *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*, Routedledge.
- McCOMAS, W. F. (2000). (Éd.) "The Principal Elements of the Nature of Science: Dispelling the Myths", in McCOMAS, W. F. (Éd.) (2000). *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*, Springer.
- MEIRIEU, P. (1987) *Apprendre... Oui, mais comment*. ESF.
- MEIRIEU, P. et DEVELAY, M. (1992). *Emile, reviens vite... ils sont devenus fous*, ESF.
- MEIRIEU, P. (2001). *Célestin Freinet : comment susciter le désir d'apprendre ?* PEMF.
- MILLAR, R. & OSBORNE, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. King's College London, School of Education.
- MONCHAMP, A. (1993) « Biologie », in Colomb, J. (dir., 1993). *Les enseignements en Troisième et en Seconde, ruptures et continuités*, INRP.
- MONCHAMP, A. (1995) « L'articulation troisième-seconde en biologie », in Fillon & Monchamp, 1995.
- NECKER DE SAUSSURE, A. (1828). *L'éducation progressive* tome 1, Paulin et Garnier, 1844.
- NECKER DE SAUSSURE, A. (1832). *L'éducation progressive* tome 2, Paulin.
- NELSON, G. D. (1999). "Science Literacy for All in the 21st Century", *Educational Leadership*, October 1999 - Volume 57 - Number 2.
- NOVERRAZ, J.-C., PARISOD, J.-M. (2005). « Phases d'une séquence d'enseignement et rapport de l'élève à l'objet ». *Actes JIES XXVII*, CDROM. A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg, éditeurs.
- NOVERRAZ, J.-C. (2007). « La dimension épistémologique dans l'enseignement des sciences » *Prismes*, Revue pédagogique, 6, 27-31. Lausanne : HEP Vaud.
- ORANGE, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*, PUF.
- ORANGE, C. (2002). « L'expérimentation n'est pas la science ». *Cahiers pédagogiques* n°409, 12/2002.
- ORLANDI E. (1991). "Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale", *Aster* 13, INRP.
- PACCAUD, M. et VUALA, J. (1999). *Biologie - géologie - concours de professeur des écoles*. Hatier.
- PAPE-CARPANTIER, M. (1868). *Conférences faites aux instituteurs réunis à la Sorbonne à l'occasion de l'Exposition universelle de 1867*. Delagrave, 1879.
- PAPERT, S. (1980). *Jaillissement de l'esprit*, Flammarion, 1981.
- PARENT, G.H. (1964). « L'utilisation d'une méthode logique dans l'enseignement de la biologie au niveau secondaire ». *Bulletin Association nationale Des Professeurs de Biologie*, Belgique, fascicule 4.
- PATY, M. (1976). « Science, retour aux sources et fondements ». *La Recherche* n°69, juillet-août 1976.
- PÉCHOUTRE, F. (1905). « L'enseignement des sciences naturelles dans le premier cycle », in Hulin, 2002.

- PELLAUD, F., EASTES, R.-E. & GIORDAN, A. (2004). « Des modèles pour comprendre l'apprendre : de l'empirisme au modèle allostérique », in *Gymnasium Helveticum*, mai 2004.
- PELLAUD, F., EASTES, R.-E. & GIORDAN, A. (2005). « Un modèle pour comprendre l'apprendre : le modèle allostérique », in *Gymnasium Helveticum*, janvier 2005.
- PIAGET, J. (1926). *La représentation du monde chez l'enfant*, PUF 2003.
- PIAGET, J. (1935a). « Les méthodes nouvelles. Leurs bases psychologique », in *Psychologie et pédagogie*, Denoël, 1969.
- PIAGET, J. (1935b). « Remarques psychologiques sur le travail par équipes ». *Le travail par équipes*, Genève, BIE.
- PIAGET, J. (1944). « L'éducation de la liberté ». *L'école bernoise*, Berne, n+77, p. 297-299.
- PIAGET, J. (1949). *Remarques psychologiques sur l'enseignement élémentaire en sciences naturelles*, in Xypas, 1997, p. 101-114.
- PIAGET, J. (1965). « Éducation et instruction depuis 1935 », in *Psychologie et pédagogie*, Denoël, 1969.
- PIAGET, J. (1969). *Psychologie et pédagogie*, Denoël.
- PIAGET, J. (1972). *Où va l'éducation ?*, UNESCO, Folio essais, 1988.
- PIAGET, J. (1979). « La psychogenèse des connaissances et sa signification épistémologique ». In Piattelli-Palmarini (éd., 1979). *Théories du langage, théories de l'apprentissage*, Seuil, 1982.
- POCHET, B. (1995). « Le "Problem-based Learning", une révolution ou un progrès attendu ? », *Revue française de pédagogie* n° 111, avril-mai-juin, pp. 95-107.
- POPE, M. & GILBERT, J. (1983). « Personal Experience and the Construction of Knowledge in Science ». *Science Education*, 67 (2), 193-203.
- PORLAN ARIZA, R., GARCIA GARCIA, E., RIVERO GARCIA, A et MARTIN DEL POZO, R. (1998). « Les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en rapport avec leurs idées sur la science, l'enseignement et l'apprentissage », *Aster* n°26.
- PORLAN, R. (1995). « Las creencias pedagogicas y cientificas de los profesores ». *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3 (1), 7-13.
- POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W. & GERTZOG, W. A. (1982). "Accommodation of scientific conception: toward a theory of conceptual change". *Science Education* v. 2, n. 66, p. 221-227.
- PUSHKIN, D. B. (1997). "Where do ideas for students come from? Applying constructivism and textbook problems to the laboratory experience". *Journal of College Science Teaching*, 26(4), p. 238-242.
- RAICHVARG, D. (1987). « La didactique a-t-elle raison de s'intéresser à l'histoire des sciences ? », *ASTER* n°5, INRP, p. 3-34.
- ROBARDET, G. (1990). « Enseigner les sciences physiques à partir de situations – problèmes », *Bull. Un. Phys.* n° 720.
- ROBARDET, G. (1994). « La formation des enseignants de sciences physiques et le mythe naturaliste », in Actes du 4<sup>e</sup> Séminaire National de Recherche en Didactique des Sciences physiques, Amiens, 16-18 octobre 1994 (pp. 4-22).
- ROBARDET, G., & GUILLAUD, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*, PUF.
- ROBARDET, G. & VÉRIN, A. (1998). « L'enseignement scientifique vu par les enseignants ». *Aster* n°26, INRP.
- ROLETTO, E. (1998). « La science et les connaissances scientifiques : points de vue de futurs enseignants ». *Aster* n°26.
- ROSMORDUC, J. (1995). « L'histoire des sciences dans la formation scientifique des maîtres de l'école élémentaire ». *Didaskalia* n°7.
- ROSTAND, J. (1966) Discours prononcé pour le centenaire de la ligue de l'enseignement, in *Rostand, un biologiste engagé*. Coll. « Les génies de la science », Ed. Pour la Science, mai-août 2001, p. 43.
- ROTH, W.M. (1999). *Scientific research expertise from middle school to professional practice*. Symposium presentation at the 1999 annual meeting of the American Educational Research Association, Montréal.
- ROUSSEAU, J.-J. (1740). *Projet pour L'éducation de M. de Sainte-Marie*, in *Oeuvres complètes de J. J. Rousseau*, Dalibon, 1824.
- ROUSSEAU, J.-J. (1750). *Discours sur les sciences et les arts*.
- ROUSSEAU, J.-J. (1762). *Émile ou de l'éducation*. GF Flammarion, 1966.
- RUMELHARD, G. (1997). « Problématiser le vivant ». In *La problématique d'une discipline à l'autre*, ADAPT.
- RUMELHARD, G. (2000) « Sciences de la vie, philosophie, sciences humaines ». *Aster* n°30, INRP.
- SANCHEZ, E., PRIEUR, M. & FONTANIEU, V. (2005). « L'enseignement des sciences de la Terre : que font les élèves sur le terrain ? » in Giordan, A., Martinand, J.-L. Raichvarg, D. (Éd.) (2005). *Actes JIES* xxvii.
- SCHMIDT, W. H., MCKNIGHT, C. C., & RAIZEN, S. A. (1996). *A splintered vision: An investigation of U. S. science and mathematics education*. Dordecht: Kluwer Academic.
- SCHNEIDER, J.-H. (2000). « John Dewey in France », *Studies in Philosophy and Education* 19: 69–82.
- SCHWAB, J. J. (1962). "The teaching of science as inquiry". In Schwab, J.J. and Brandwein, P.F. (Eds, 1962). *The teaching of science*, Harvard University Press.
- SCHWEBEL, M. et RAPH, J. (éds, 1973). *Piaget à l'école. Libérer la pédagogie*, Denoël-Gonthier, 1976.
- SPENCER, H. (1861). *De l'éducation [intellectuelle, morale et physique]* G. Baillière, 1894.
- STAKE, R.E. & EASELY, J.A. (1978). *Case Studies in Science Education*. Washington : US Government Printing Office.

- STENGERS, I. (1992). « Le rôle possible de l'histoire des sciences dans l'enseignement ». UQAM, *Cahier du CIRADE* n° 65.
- STEVENS, P. (1978). « On the Nuffield Philosophy of Science ». *Journal of Philosophy of Education*, 12, 99-111.
- SYRING, R. (2005) "The Scientific Mind and HIV/AIDS", contribution au colloque international *Building the Scientific Mind* du *Learning Development Institute*, La Haye, Pays-Bas, 17-20 mai 2005.  
<http://www.learndev.org/dl/BtSM2005-Syring.pdf>.
- TAMIR, P. (2000). "Science education: have enquiry-oriented science curricula failed?", in Moon, B., Ben-Peretz, M. & Brown, S. (2000). *Routledge International Companion to Education*, Taylor & Francis, p. 821-842, -1006 p.
- TOBIAS, S. (1990). *They're Not Dumb, They're Different*. Research Corporation.
- TOBIN, K. & GALLAGHER, J. J. (1987). "What happens in high school science classrooms?". *Journal of Curriculum Studies*, 19 (6), pp. 549-560.
- TOZZI, M. (2000). « Portrait ». *Esprit critique, es-tu là ? Cahiers pédagogiques* n°386, septembre 2000.
- VÉRIN, A. (1998). « Enseigner de façon constructiviste, est-ce faisable ? », *Aster* n°26.
- VYGOTSKY, L.S. (1933). *Mind and society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press, 1978.
- WEISS, I.R., PASLEY, J.D., SMITH, P.S., BANILOWER, E.R. & HECK, D.J. (2003). "Looking inside the classroom: A study of K-12 mathematics and science education in the United States". Chapel Hill, NC: Horizon Research.
- XYPAS, C. (1997), *Piaget et l'éducation*, PUF.

## TEXTES OFFICIELS HISTORIQUES ET ANALYSES DE L'HISTOIRE DE L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

- CONDORCET (1791), *Cinq mémoires sur l'instruction publique*. Présentation, notes, bibliographie et chronologie par Charles Coutel et Catherine Kintzler. Garnier-Flammarion, 1994.
- CONDORCET (1792), *Rapport sur l'organisation générale de l'Instruction publique*. In *Une éducation pour la démocratie. Textes et projets de l'époque révolutionnaire*, prés. par B. Baczko, Droz 2000.
- DAUNOU, P. (1795). Rapport sur la clôture des cours de l'École normale, présenté à la Convention au nom du Comité d'Instruction publique. 7 floréal an III [26 avril 1795]. In *Procès verbaux du Comité d'Instruction publique de la Convention nationale*. Imprimerie nationale, 1907. Tome VI, p 136-139.
- HULIN, N. (dir., 2000). *Physique et « humanités scientifiques ». Autour de la réforme de l'enseignement de 1902. Études et documents*. Septentrion.
- HULIN, N. dir. (2002) *Sciences naturelles et formation de l'esprit. Autour de la réforme de l'enseignement de 1902*. Presses Universitaires du Septentrion.
- HULIN-JUNG, N. (1989). *L'organisation de l'enseignement des sciences*, Ed. du Comité des Travaux historiques et scientifiques.
- KAHN, P. (1999). *De l'enseignement des sciences à l'école primaire*. Hatier.
- KAHN, P. (2001). Enseigner les sciences en vue des « usages de la vie ». Réflexions sur un paradigme de l'école primaire au XXe siècle, *Carrefours de l'éducation* 2001/1, n° 11, p. 34-51.
- KAHN, P. (2002a). *La leçon de choses*. Septentrion.
- KAHN, P. (2002b). L'enseignement des sciences naturelles entre philosophie et pédagogie. In HULIN, N. (éd.), *Sciences naturelles et formation de l'esprit. Autour de la réforme de l'enseignement de 1902*. Presses Universitaires du Septentrion, p. 85-106.
- LAKANAL, J. (1794a). *Rapport sur Bacon*. In *Exposé sommaire des travaux de Joseph Lakanal*, Didot frères, 1838, p. 103-104.
- LAKANAL, J. (1794b). *Rapport sur l'établissement des écoles normales*. Séance du 2 brumaire, l'an III de la République, Imprimerie Nationale, p. 8-12, Réédité dans GRANDIÈRE M., PARIS R. et GALLOYER D. (2007). *La formation des maîtres en France, 1792-1914, Recueil de textes officiels*, INRP, p. 10-15.
- LEGRAND, L. (1961). *L'influence du positivisme dans l'œuvre scolaire de Jules Ferry*, Marcel Rivière.
- MACHEREY, P. (1992). « L'Idéologie avant l'idéologie : l'École normale de l'an III », in Azouvi, F., *L'institution de la raison. La révolution culturelle des idéologies*, p. 41-49, EHESS, Vrin.
- TERRAL, H. (1999). *L'école de la République. Une anthologie (1878-1940)*. CNDP.
- VINCENT, G. (1994). « L'école normale de l'An III de la première République française », in LETHIERRY (H.), *Feu les écoles normales (et les IUFM ?)*, L'Harmattan, 1994, p. 91-103.
- WEILL, G. (1921). *Histoire de l'enseignement secondaire en France, 1802-1920*, Payot.

## RAPPORTS OFFICIELS

- IGEN - Christian Loarer : *La rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire*, rapport de l'IGEN à Monsieur le ministre - Février 2002, <http://www.education.gouv.fr/syst/igen/rapports.htm#2002>.
- IGEN, Groupe de Physique et Chimie (1996). *La place de l'expérimental dans l'enseignement de la physique et de la chimie*, MENRT, 11 p.
- IGEN, Groupe de Physique et Chimie (2006). *L'enseignement de la physique et de la chimie au collège*. Rapport n° 2006-091. MENESR, novembre 2006, 61 p.  
<http://www.education.gouv.fr/cid4439/1-enseignement-de-la-physique-et-de-la-chimie-au-college.html>
- IGEN, Groupe SVT (2007). *Mettre les élèves en activité au collège pour les former, les évaluer, les orienter* (2007), Rapport n° 2007- 031, avril 2007. <http://www.education.gouv.fr/cid5103/mettre-les-eleves-en-activite-au-college-pour-les-former-les-evaluer-les-orienter.html>
- L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. État des lieux des politiques et de la recherche*. Eurydice, le réseau d'information sur l'éducation en Europe, 2006.
- L'évaluation internationale PISA 2003 : compétences des élèves français en mathématiques, compréhension de l'écrit et sciences*, Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance, MEN, mars 2007.
- PISA 2006. *Les compétences en sciences, un atout pour réussir*. Volume 1 (Analyse des résultats) et Volume 2 (Données). OCDE, 2007.
- « Élèves de 15 ans : premiers résultats de l'évaluation internationale PISA 2006 en culture scientifique ». *Les notes d'information* - D.E.P.P. - N°07.42, décembre 2007. <http://media.education.gouv.fr/file/97/2/20972.pdf>