



HAL
open science

Le physicien, l'observation et ses présupposés, au travers de l'histoire des modèles d'univers : représentations d'élèves de terminale S

Nicolas Journaux

► To cite this version:

Nicolas Journaux. Le physicien, l'observation et ses présupposés, au travers de l'histoire des modèles d'univers : représentations d'élèves de terminale S. Education. Université Paris-Saclay, 2018. Français. NNT : 2018SACLS397 . tel-02160504

HAL Id: tel-02160504

<https://theses.hal.science/tel-02160504>

Submitted on 19 Jun 2019

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.

Le physicien, l'observation et ses présupposés, au travers de l'histoire des modèles d'univers : représentations d'élèves de terminale S

Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay
préparée à l'Université Paris-Sud

École doctorale n° 578 : sciences de l'homme et de la société (SHS)
Spécialité de doctorat : didactique des sciences

Thèse présentée et soutenue à Orsay, le 11 décembre 2018, par

Nicolas Journaux

Composition du Jury :

Mme C. de Hosson Professeure, Université Paris-Diderot (– LDAR)	Présidente et Rapporteur
M. M. Bächtold Maître de Conférences HdR, Université de Montpellier (– LIRDEF)	Rapporteur
M. C. Bracco Maître de Conférences HdR, Université de Nice-Sophia Antipolis (– SYRTE-Observatoire de Paris)	Examineur
M. A. Sarfati Professeur, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay (– LAC)	Examineur
M. J.-L. Wolfs Professeur, Université Libre de Bruxelles (– CRSE)	Examineur
Mme L. Maurines Professeure, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay (– EST-DidaScO)	Directrice de thèse

**Le physicien, l'observation et ses
présupposés, au travers de
l'histoire des modèles d'univers :
représentations d'élèves de
terminale S**

« L'histoire, si on la considérait comme autre chose que des anecdotes ou des dates, pourrait transformer de façon décisive l'image de la science dont nous sommes actuellement empreints »
– Kuhn (1983, p.17)

Remerciements

Les travaux présentés dans cette thèse ont été réalisés au sein du groupe DidaScO, groupe de recherche en didactique des sciences du laboratoire Études sur les Sciences et les Techniques (EST). Je remercie particulièrement Hélène Gispert, Annick Jacq, Marie-Joëlle Ramage et Magali Fuchs-Gallezot pour leurs commentaires et leurs conseils tout au long de mon travail.

Je remercie ma directrice de thèse, Laurence Maurines, pour son soutien et sa bienveillance, ses nombreux conseils et sa disponibilité durant la rédaction de ma thèse.

J'adresse également mes remerciements à Cécile de Hosson et Manuel Bächtold qui m'ont fait l'honneur d'être les rapporteurs de cette thèse. Je tiens par ailleurs à remercier Christian Bracco, Alain Sarfati et José-Luis Wolfs qui ont accepté de participer à mon jury de thèse. Je remercie sincèrement ce dernier d'avoir apporté un regard complémentaire sur mon travail lors du colloque international organisé à Amiens en 2014.

Les différentes expérimentations présentées ici ont été effectuées au sein du Lycée Rotrou à Dreux. Je remercie mes différents collègues, et en particulier Frank Smith et Ugo Batini, qui ont su par leurs questions ou leurs conseils me permettre de toujours pousser un peu plus mon raisonnement. Et je remercie infiniment tous les élèves de TS1 sans qui ce travail n'aurait pas pu avoir lieu.

Enfin, je remercie tout particulièrement mon épouse et mes enfants qui m'ont soutenu et qui ont aussi participé à cette thèse à leur manière.

Sommaire

<i>Introduction</i>	7
<i>Première partie : objet et cadre de l'étude</i>	11
1. Regard sur l'enseignement de physique-chimie.....	11
2. Une image partielle et déformée de la nature des sciences	36
3. Caractériser la nature des sciences à des fins d'enseignement	63
4. La nature des sciences, oui... mais comment ?.....	97
<i>Deuxième partie : Conception de l'étude empirique</i>	108
1. Problématique et hypothèses	108
2. Contenus théoriques et épistémologiques de la cosmologie de Platon à Galilée ...	116
3. Élaboration de la séquence expérimentée	154
4. Les outils de suivi des élèves	168
5. Méthodologie d'analyse des réponses	176
<i>Troisième partie : Résultats</i>	180
1. Le questionnaire avant la séquence	181
2. Les documents pendant la séquence et le questionnaire immédiatement après ...	229
3. Avant/Après : Comparaison des résultats de la classe	272
4. De Neptune à Vulcain : Étude des résultats de la classe et bilan.....	285
<i>Conclusion</i>	296
<i>Bibliographie</i>	302
<i>Table des annexes</i>	316
<i>Table des illustrations : Figures</i>	371
<i>Table des illustrations : Tableaux</i>	374
<i>Table des matières</i>	376

Introduction

Les programmes d'enseignement des sciences en France ont évolué au cours de ces quinze dernières années. Ils appellent désormais à offrir à chacun, futur scientifique ou non, une éducation citoyenne aux sciences. Cette évolution nécessite de considérer de nouveaux objectifs pédagogiques relatifs à la nature des sciences et de l'activité scientifique que nous qualifierons d'épistémologiques. Ceux-ci restent en grande partie formulés de manière trop générale pour être opérationnels et le plus souvent implicites. En ce qui concerne les méthodes d'enseignement, la pratique de la démarche scientifique et l'introduction d'une approche historique sont mises en avant. Il n'en demeure pas moins que, d'une part, l'histoire des sciences occupe une place minime dans les manuels scolaires, même si nous notons une évolution positive. D'autre part, elle ne semble pas être au centre des pratiques des enseignants, même si la plupart y portent un réel intérêt. Par ailleurs, sa mise en œuvre en classe semble source de questionnements.

En France, les questions soulevées par la dimension épistémologique de l'apprentissage-enseignement des sciences n'ont pas donné lieu à des études aussi nombreuses et approfondies qu'à l'étranger. En particulier dans les pays anglo-saxons s'est développé un vaste courant de recherche désigné sous l'acronyme *NoS* (*Nature of Science*). Les recherches qui portent sur l'image de la *NoS* des élèves montrent l'existence d'une conception réaliste naïve et empirico-inductive des sciences. Celles qui s'intéressent à leur vision du monde et qui prennent en compte les facteurs culturels, par exemple la religion, mettent en évidence l'existence de différentes conceptions des rapports sciences-religions, comme entre autres le concordisme, le conflit ou la séparation. Quelques études menées dans les pays francophones mettent en évidence des résultats analogues.

Le contexte précédent nous a conduit à commencer une recherche afin d'examiner s'il est possible d'aider les élèves à positionner les sciences et les religions sur deux plans

différents, ainsi qu'à dépasser une représentation des sciences proche par certains aspects du positivisme, grâce à l'introduction de l'histoire des sciences dans les cours de sciences.

Notre travail est ancré dans le champ de recherche de la nature des sciences (*Nature of Science, NoS*), qui est principalement exploré dans les pays anglo-saxons. Il s'appuie sur l'analyse proposée par Maurines (2010) de l'activité scientifique dans son étude sur l'enseignement des sciences face au fait religieux. Il s'inscrit dans la continuité du travail réalisé par le groupe DidaScO sur l'introduction de l'histoire des sciences en classe de sciences (Maurines *et al.*, 2011) et sur la caractérisation des sciences à des fins d'enseignement et de recherches en éducation (Maurines *et al.*, 2013). Il a consisté à élaborer une séquence d'enseignement innovant et à la mettre en œuvre en classe. Notre démarche de recherche relève de l'ingénierie didactique. Le processus de validation de l'expérimentation en classe est interne et repose sur la confrontation entre analyse *a priori* et *a posteriori*.

Pour contrer la vision « naïve » des sciences que nous supposons partagée par les élèves et les aider à mieux cerner les spécificités des sciences, nous avons choisi dans l'histoire des sciences un exemple de changement de paradigme connu du grand public. Il est donc susceptible de constituer une base raisonnable d'étude de la nature des sciences fondée sur l'opinion commune des élèves : le passage du géocentrisme à l'héliocentrisme. Ce thème historico-scientifique peut être abordé à différents niveaux d'enseignement du lycée, en particulier en classe de terminale scientifique, classe choisie pour l'expérimentation. En plus de l'étude de la relation entre la théorie et l'expérience, valorisée par les programmes à la fois de physique-chimie et de philosophie, il nous semble important de travailler avec les élèves la question de la subjectivité en sciences. Les pratiques scientifiques visent l'objectivité, mais elles reposent sur un ensemble de présupposés, théoriques et métaphysiques, dont certains sont partagés par la communauté scientifique et d'autres sont personnels. Il nous semble également nécessaire d'aider les élèves à distinguer l'ensemble des présupposés qui fonde la pratique scientifique des présupposés associés à une vision religieuse du monde.

Nous avons d'abord réalisé une analyse épistémologique de l'histoire des modèles d'univers (antiquité-période moderne). Au-delà de l'exposition des différentes étapes sur le plan astronomique, nous avons examiné les arguments avancés et la nature des preuves, dégagé les conceptions épistémologiques et les présupposés qui ont orienté la réflexion des scientifiques. Nous avons ensuite élaboré une séquence d'investigation documentaire à caractère historique qui met en œuvre la compétence « *extraire et exploiter l'information* ». Elle relève de la partie « *Comprendre : lois et modèles* » du programme de terminale S et du thème « *Temps, mouvement et évolution* » dans lequel les grands systèmes du monde peuvent être abordés. Nous avons élaboré sept textes à caractère historique, des activités pour les élèves ainsi que des outils de suivi de l'expérimentation en classe.

Un premier test de la séquence innovante a été réalisé afin d'avoir un premier aperçu de sa réception, en particulier des textes, par les élèves. Une première expérimentation avec suivi a permis de tester les questionnaires de recherche et d'affiner les aides à apporter aux élèves. Une seconde expérimentation a eu lieu un an plus tard.

Nous présenterons en première partie le contexte de recherche. Cette partie débutera par un panorama de l'évolution de l'enseignement scientifique puis proposera une revue de la littérature de recherche existante sur la *NoS* au sens anglo-saxon du terme : conceptions des élèves et propositions d'enseignement notamment en lien avec l'histoire des sciences. Nous serons également amené à discuter des différentes approches proposées dans la littérature pour caractériser la *NoS* à des fins de recherche et d'enseignement, à introduire la notion de paradigme, à préciser que les sciences s'appuient sur des présupposés relatifs au monde, à la connaissance que l'Homme peut en avoir, et à ce que sont les sciences (nature des explications, des méthodes, des preuves, etc.).

Dans la deuxième partie, nous précisons la problématique, les questions de recherche et les objectifs épistémologiques retenus pour la séquence d'enseignement. Nous développerons un cadre historique et épistémologique qui nous amènera à la présentation de l'élaboration de la séquence et des outils de suivi. Cette partie traitera également de la méthodologie d'analyse utilisée dans le cadre de cette recherche.

Les résultats obtenus lors de la dernière expérimentation en classe seront présentés en troisième partie. Ceux-ci porteront sur les conceptions des élèves de la nature des sciences ainsi que sur leur rapport à l'innovation. La conclusion générale sera exposée dans la quatrième partie. Nous identifierons à la fois les limites de l'étude ainsi que les pistes de recherche complémentaires et de valorisation potentielles.

Première partie : objet et cadre de l'étude

1. REGARD SUR L'ENSEIGNEMENT DE PHYSIQUE-CHIMIE

« L'enseignement de la physique n'est pas une constante, mais une variable. Il change avec le développement de la société dont il fait partie, avec les évolutions des points de vue de la société sur l'éducation et les sciences, ainsi qu'avec les évolutions de la physique et de la technologie elles-mêmes. »

– Lijnse (1997, p. 2)

Une formation citoyenne des élèves français aux sciences, qu'ils soient dans des filières scientifiques ou non, est l'une des orientations fixées pour l'enseignement des sciences depuis une quinzaine d'années. La physique-chimie forme actuellement à elle seule une discipline scolaire au niveau de l'enseignement secondaire, et ce, depuis deux siècles. En même temps que les mathématiques, les sciences de la vie et de la Terre et la technologie à l'école primaire et au collège, la physique-chimie participe à la formation scientifique et technique des citoyens de demain. Les programmes de physique-chimie actuellement en application au Lycée ont été mis en œuvre progressivement depuis 2010. Cette réforme partait en particulier du constat de la désaffection pour les études scientifiques. Les programmes, celui de terminale scientifique surtout, ont été conçus pour lutter contre ce désintérêt en demandant aux enseignants d'axer leur travail sur les compétences afin de favoriser, in fine, le développement d'une culture scientifique pour tous. Ces changements sont considérablement encouragés par le courant de pensée européen actuel. Dans un premier temps, nous analyserons brièvement les programmes de physique-chimie et leur évolution. Puis nous évoquerons quelques débats récents sur la culture scientifique et un certain nombre de résultats significatifs pour notre étude. Il nous semble essentiel de garder à l'esprit tous ces éléments historiques pour mieux comprendre les résistances actuelles au renouvellement de la culture scientifique.

1.1 L'évolution de l'enseignement de la physique-chimie

Avant d'exposer succinctement le développement récent de l'enseignement de la physique-chimie, il convient de mentionner préalablement quelques rappels historiques qui témoignent des évolutions et des adaptations permanentes de cet enseignement. Nous n'avons pas la prétention, en quelques pages, d'aborder tout ce qui concerne l'histoire de cet enseignement depuis le XIX^e siècle. En revanche, nous en rappellerons les grandes lignes sans nécessairement suivre un ordre chronologique strict.

1.1.1 La place grandissante de l'expérimental dans l'enseignement de la physique-chimie au XX^e siècle

Au XIX^e siècle, l'accès aux études secondaires en sciences et en lettres ne concernait qu'à peine cinq élèves sur cent d'une même classe d'âge. L'origine sociale supérieure de ces élèves leur conférait inévitablement une vaste culture générale constituée en grande partie par le champ des humanités classiques. L'enseignement de la physique demeurait très théorique.

L'enseignement de la physique et de la chimie s'est développé tout en affirmant son caractère expérimental. Cette caractéristique propre aux disciplines scientifiques n'a pas suivi un développement continu, mais s'est effectuée plutôt par sauts : aux expériences de cours et aux démonstrations se sont rajoutés les travaux pratiques. Plusieurs raisons peuvent l'expliquer : certaines sont épistémologiques, puisque la physique et la chimie sont par nature des sciences expérimentales, d'autres sont politiques et relèvent de la volonté de les démarquer d'autres disciplines scolaires. La physique a été séparée des mathématiques, notamment au XIX^e siècle, pour être jumelée avec la chimie. Hulin (2007) rappelle par ailleurs que cette union de la physique et de la chimie est une caractéristique française.

Selon Fauque (2007), la réforme des études de 1902 consacre véritablement le rôle éducatif et culturel de l'enseignement des sciences expérimentales en France dans l'enseignement secondaire. Pour autant, la formation scientifique était considérablement différente de ce qu'elle est maintenant. L'approche expérimentale

se faisait uniquement au travers d'exercices dénommés « *pratiques* », ce qui laissait peu de place aux expériences comparativement aux travaux pratiques actuels. Derrière cette évolution, se cachait sans doute une idéologie, car les expériences et les travaux pratiques étaient et restent perçus, comme une caractéristique fondamentale de l'enseignement de la physique-chimie, inspirée des pratiques de recherche. À cela s'associaient la valorisation d'un apprentissage plus « *concret* » et sans doute aussi une indifférenciation entre manipulation et expérimentation. Johsua (1989) a noté le décalage entre les intentions officielles et la mise en pratique dans les classes. Il a d'ailleurs porté un regard très critique sur le fait de pouvoir rapprocher strictement l'activité scientifique et le mode inductif d'acquisition de connaissances de l'époque en le qualifiant de « *mythe naturaliste* ».

Il était fortement recommandé de recourir à l'expérience en concédant une large place à la démarche inductive. Dans un certain sens, cette idée découlait également de l'influence positiviste des scientifiques de cette période. Toutefois au regard de la conférence de Paul Langevin en 1904, la question de la démarche hypothético-déductive était déjà envisagée :

« Ce travail continu de construction intérieure à l'esprit, à partir d'hypothèses de plus en plus précises dont la physique mathématique nous aide à suivre le développement et dont l'expérimentateur doit confronter les résultats avec les faits qui nous sont extérieurs, posant à la nature des questions continues. » (Hulin, 2000, p. 17)

Après la Seconde Guerre mondiale, l'enseignement a été de plus confronté à de nouveaux défis tels que la massification de l'éducation avec toutes ses implications en termes de salles spécialisées, d'équipement, d'horaires suffisants et de travail en effectif réduit.

En définitive, ce n'est qu'avec la Commission Lagarrigue (1971-1977) que l'enseignement des sciences physiques semble devenu progressivement expérimental. Cette commission met en avant la nécessité de tenir compte des spécificités épistémologiques des enseignements liés au rapport entre approches expérimentale et théorique. Les laboratoires des lycées se dotent alors progressivement de matériels de

physique et de chimie grâce, notamment, au centre d'équipement en matériel scientifique et technique (CEMS) créé en 1950. Le CEMS a permis le développement des séances de travaux pratiques où les élèves travaillaient réellement en binôme. La démarche expérimentale s'est imposée au début des années 1980 sous l'impulsion des programmes et des enseignants qui voyaient en elle une méthode permettant d'améliorer l'acquisition des connaissances scientifiques tout en rendant les élèves actifs. Pourtant, elle a souvent été dénaturée : une vision figée de la démarche expérimentale se met alors en place dans les pratiques et devient un modèle à suivre pas à pas donnant naissance à la fameuse formule OHERIC (Observation, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation, Conclusion). Aussi sous prétexte de les rendre actifs, les élèves sont amenés à réaliser des expériences pour « voir » ou pour comprendre des concepts scientifiques plutôt que pour véritablement mettre à l'épreuve des hypothèses.

L'enjeu était de s'adapter à un enseignement de masse et de répondre à deux enjeux majeurs : d'une part, accompagner la transformation de la société industrielle, d'autre part « *faire entrer les sciences dans la culture* » selon l'expression de Lévy-Leblond qui exprime ainsi l'enjeu implicite de cette transformation. Cependant, dans les programmes de sciences physiques de cette époque, les expressions associées à la culture étaient absents.

1.1.2 L'acculturation scientifique de tout citoyen à partir des années 1980

Cette préoccupation culturelle apparaîtra véritablement dans l'article 14 de la loi d'orientation et de programmation pour la recherche et le développement technologique de la France de 1982¹ (LOP) qui fixe la diffusion de la culture scientifique comme enjeu des politiques publiques. Depuis cette date, le département ministériel chargé de la recherche scientifique comporte un organisme nommé Mission de la culture et de l'information scientifiques et techniques des musées. Mais, il subsistait plusieurs limites implicites au point que Lévy-Leblond a proposé dès 1986, une expression alternative en affirmant que l'obstacle était moins de « *diffuser la culture scientifique* » que de « *mettre la science en culture* ». Il

¹ Loi n° 82-610 du 15 juillet 1982 d'orientation et de programmation pour la recherche et le développement technologique de la France

considère, en effet, qu'il n'existe pas quelque chose qu'on appellerait la culture scientifique comme une instance séparée, et tout l'enjeu reste, selon lui, de retrouver des liens entre l'activité scientifique et le reste des activités culturelles. Revenons brièvement sur les trois types d'objectifs assignés au développement de la culture scientifique et technique (arguments économiques, démocratiques et culturels) avancés à cette période, objectifs qui influencent l'éducation aux sciences depuis une trentaine d'années.

En premier lieu, la promotion de la culture scientifique a reposé sur un argument de type économique, au sens large de Walberg (1983) et Hodson (2003). Celui-ci met en avant le rôle des sciences et des nouvelles technologies dans la formation professionnelle. Il s'agit d'encourager une meilleure formation et une plus grande compétence pour les futurs ingénieurs et cadres techniques, dans la perspective d'un soutien à l'économie et de la compétitivité sur le marché mondial. L'argument développé est qu'une visée plus pragmatique des avancées scientifiques pourrait encourager le développement économique. Toutefois, de nos jours, cet argument semble loin d'être aussi évident au vu de la défiance des citoyens à cet égard. Citons, par exemple, la question des usages militaires des sciences. De plus, les questions environnementales mises en valeur par l'écologie montrent également qu'il ne suffit manifestement pas à servir de fondement à un raisonnement en faveur de la culture scientifique.

En deuxième lieu, dans la perspective du développement de la démocratie, il semble essentiel de considérer un argument de type politique, selon Thomas et Durant (1987). La culture scientifique doit permettre aux citoyens de participer à la vie démocratique tout en favorisant le développement de l'esprit critique. Le but reste de leur permettre de pouvoir prendre part aux décisions déterminantes quant aux questions technoscientifiques socialement vives, par exemple celles touchant à l'énergie nucléaire, la santé publique ou la défense et la sécurité. Il s'agit là de l'argument invoqué au XVIII^e siècle dans le débat des Lumières sur la question du progrès. Pour Condorcet, le progrès technique et scientifique entraîne un progrès des Lumières et de la morale. En effet, il estime que la religion est une superstition qui disparaît avec l'approche scientifique et que les progrès permettent de chasser les dogmes du domaine de la morale naturelle. Dans ce contexte social, culturel,

politique et religieux, Condorcet envisage l'arrivée d'une nouvelle phase de l'évolution technique. Cependant, Lévy-Leblond (1996) critique ce type d'argument en soulignant que les pratiques démocratiques ne conduisent pas nécessairement à des choix collectifs rationnels. Une autre difficulté se situe au niveau du cadre souvent trop étroit dans lequel sont incluses ces questions scientifiques dans l'enseignement. Il n'est souvent pas simple de bien marquer le lien entre l'activité scientifique et ses répercussions sociales ou économiques. Les sciences humaines et sociales, c'est-à-dire toutes les questions qui relèvent de la sociologie et de l'économie politique, n'apparaissent que peu ou prou dans les questions spécifiques abordées dans l'enseignement de la physique ou de la biologie, par exemple. Cela a comme effet de rendre peu perceptible l'impact réel de la culture scientifique sur cet objectif démocratique.

Néanmoins, dans l'enseignement, ces questions reviennent de façon plus soutenue depuis 1999 avec la création des TPE (Travaux personnels encadrés). Introduits en classe de première générale à l'occasion de la réforme de 2001², ils font partie depuis des épreuves anticipées du Baccalauréat. Au travers des TPE, l'élément important pour l'appréhension et le travail des sciences demeure l'élaboration d'une problématique. Régulièrement, les lycéens choisissent d'aborder dans le cadre de leurs recherches certains sujets en faisant référence au principe de précaution, à des questions énergétiques comme le nucléaire ou des questions de bioéthique comme l'euthanasie ou l'eugénisme. Nous sommes ici en prise directe avec certains enjeux sociétaux découlant directement de l'activité scientifique. Il devient alors plus évident aux yeux des élèves qu'il semble désormais nécessaire pour appréhender les enjeux réels d'une pratique scientifique de bien saisir à la fois son origine, mais aussi ses effets sur des domaines qui la débordent de toute part (santé, environnement, etc.).

Et enfin, il nous reste maintenant à prendre en compte un argument de nature précisément culturelle d'après Shortland (1988). Il s'agit d'amener chaque citoyen à prendre conscience de la place des sciences au sein même de la sphère culturelle. Les sciences apparaissent ainsi comme une entreprise culturelle et sociale au même titre

² Circulaire 2000-009 du 13 janvier 2000 et note de service 2000-031 du 26 février 2001

que la musique, la littérature et les beaux arts, une entreprise véhiculant elle-aussi une représentation du monde. Se sont ainsi développés des dispositifs et des événements en France qui visent à promouvoir les sciences auprès du grand public. Le CERN, à Genève, le CEA, à Saclay, et l'INRA proposent des visites tout au long de l'année. Des conférences sont organisées dans le cadre des manifestations « *La Fête de la science* » qui se déroulent chaque année au mois d'octobre depuis 1991. Citons encore le Palais de la Découverte, la Cité des sciences et de l'industrie, le Musée national des arts et métiers (Cnam) à Paris ou la Cité de l'espace, à Toulouse, où des expositions et des débats sont régulièrement organisés. A titre d'exemple du degré de diffusion des sciences auprès du grand public, précisons que 2,6 millions de visiteurs ont été accueillis à la Cité des sciences et de l'industrie, selon l'Insee en 2013. Elle fait donc partie des 5 musées les plus visités de France. Seulement, à l'image de toutes les activités comme la musique et le cinéma, le problème de la privatisation et de la marchandisation de la culture scientifique et de son accès à tous doit inévitablement être pris en compte.

En réalité, les scientifiques eux-mêmes n'ont généralement pas assez de temps à consacrer à la diffusion des connaissances scientifiques et ils n'ont pas nécessairement les instruments de communication efficace dans la sphère publique. Ainsi, il existe bien souvent un décalage entre leurs activités scientifiques et la diffusion de leurs travaux auprès du grand public. Même si quelques chercheurs scientifiques parviennent à s'exprimer régulièrement dans les médias tels que la télévision, la radio ou la presse écrite, il n'est pas certain que cela favorise toujours la diffusion de la culture scientifique. Nous ne nions pas le succès mérité de la prise de parole de Klein, Coppens, Reeves ou Jacquart, mais nous n'oublions pas non plus certaines dérives. Il n'y a qu'à penser à Claude Allègre³, ancien ministre de l'Éducation nationale et de la Recherche, qui a soutenu qu'une balle de tennis et une boule de pétanque, lâchées ensemble dans l'air, arrivent en même temps au sol. Cet exemple, largement médiatisé, reflète bien les difficultés auxquelles est confrontée la diffusion de la culture scientifique auprès du grand public.

³ Sylvestre Huet, Des boules qui rendent maboul. Boule de pétanque et balle de tennis : laquelle chute le plus vite ? La polémique rebondit entre Allègre et « *le Canard enchaîné* ». Libération du 6 mars 1999.

Pour récapituler, à la fin des années 1990, l'enseignement des sciences, particulièrement en France, connaît un échec relatif : il ne réussit pas à faire acquérir à chaque citoyen la culture scientifique de base indispensable à des choix éclairés. Dans la réalité des faits, pour beaucoup, l'idée persiste selon laquelle les sciences physiques se situent en dehors de la sphère culturelle. Une lacune majeure demeure le fait que trop peu de chercheurs participent à des actions visant à développer la culture scientifique, d'autant que ces initiatives ne sont pas prises en compte dans leur carrière. Autrement dit, les références à la culture scientifique apparaissent très tard dans le contexte scolaire et pendant longtemps, l'enseignement des sciences physiques consistait exclusivement à acquérir des savoirs et savoir-faire. L'aspect culturel demeure donc souvent mis un peu de côté au profit d'un enseignement plus traditionnel basé sur les expériences, les mathématiques et l'accumulation de connaissances.

1.1.3 La démarche d'investigation au tournant du XXI^e siècle

Calmettes (2012) rappelle qu'au début des années 2000, plusieurs problématiques sociétales s'opposent dans la sphère éducative et politique. D'une part, il existe une problématique d'ordre économique, qui s'attache à l'adaptation au monde, à la compétitivité et à l'insertion sociale des élèves. D'autre part, il ressort le désir et le besoin de perfectionner l'apprentissage des sciences, et le positionnement des élèves face à celles-ci. Enfin, il s'agit avant tout de définir des solutions au désintérêt des jeunes pour les études scientifiques (Osborne, Simon, et Collins, 2003 ; Venturini, 2004).

Une réponse unique a été apportée à ces différentes problématiques, en accordant une place prépondérante à l'*inquiry* et à ses différentes déclinaisons. Cette approche met en avant la démarche scientifique et le rapport du scientifique à la réalité. Parmi elles, les démarches d'investigation sont recommandées pour l'apprentissage des sciences en France. En outre, selon le rapport Rocard, datant de 2007, l'*inquiry* qualifie les démarches d'investigation. Ce qualificatif d'*inquiry* prend en considération les multiples formes que nous donnons de l'investigation. La définition ci-après a été

choisie, car elle fait actuellement office de référence pour les chercheurs en didactique, ainsi que dans les rapports institutionnels. L'investigation définit ainsi :

« *Un processus intentionnel de diagnostic des problèmes, de critiques des expériences réalisées, de distinction entre les alternatives possibles, de planification des recherches, de recherches d'hypothèses, de recherches d'informations, de constructions de modèles, de débat avec ses pairs et de formulation d'arguments cohérents* » (Linn, David et Bell, 2004 : cité dans Rocard, Csermely, Jorde, Lenzen, Walberg-Henriksson et Hemmo., 2007).

Il apparaît donc à travers cette définition que les objectifs de l'investigation sont multiples et que cette démarche pédagogique génère une certaine complexité. Il est attendu des élèves qu'ils interagissent autour de sujets ou de textes scientifiques qu'ils évaluent. Ils effectuent pour cela des recherches, s'interrogent sur les politiques scientifiques technologiques, ou bien développent une argumentation et une critique.

Si nous nous intéressons à l'historique des démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique, nous observons qu'elles ont été recommandées en France dès 2004 dans le secondaire. Elles font donc suite à des réformes successives dans le système éducatif. En France, l'année 2005 marque l'apparition des démarches d'investigation dans les programmes d'enseignement des collèges français, avec une mise en application en 2006. Quatre ans plus tard, en 2010, l'expression est reprise par les programmes de lycée, celle de situations-problèmes étant introduite en 2000. Avant que les démarches d'investigation ne soient mises en place en France, les enseignements scientifiques étaient différents. Afin de favoriser des « *méthodes de découverte* » et l'« *autonomie des élèves* », une remise en question des enseignements scientifiques semblait nécessaire. Ils permettaient de s'interroger sur des situations idéalisées et faisaient essentiellement appel à la mémoire, à la déduction et à l'usage de procédés techniques. Se posait également la question des enseignements et des cloisonnements par discipline (Coquidé, Fortin et Rumelhard, 2009).

À l'opposé, les pays anglo-saxons et les États-Unis font appel à ces démarches d'investigation, ou *inquiry*, depuis fort longtemps. Dès 1910 apparaissait la notion de *Nature Study*, qui se rapportait déjà aux démarches d'investigation. Pour ce qui est de

L'*inquiry*, elle apparaît dans les années 1950 dans les pays anglo-saxons ; preuve que l'investigation a une origine lointaine (Coquidé *et al.*, 2009). Dans ces pays, le terme *inquiry* a différentes significations selon le contexte dans lequel il est utilisé. Les expressions d'*Inquiry-Based Science Education* (IBSE), *Inquiry Based Teaching* (IBT), *Inquiry-Based Instruction* (IBI), ou encore *Inquiry-Based learning* (IBL) et *Problem-Based Learning* (PBL) sont alors utilisées. Les démarches d'investigation peuvent donc revêtir diverses significations.

Pour finir, il apparaît selon Calmettes (2012) que les chercheurs en éducation ont une appréciation plutôt large de la portée des investigations. L'enseignement scientifique pourrait viser la compréhension des principes des sciences, sur la nature des recherches ou sur la mise en œuvre du savoir scientifique selon un but sociétal et personnel (Anderson, 2002). En 2009, les effets positifs de l'investigation sur les élèves avaient déjà été relevés par les chercheurs américains Minner, Levy et Century.

1.1.4 Le renouvellement de la culture scientifique dans la dernière réforme : la visée citoyenne

Depuis environ vingt ans, l'enseignement prend une nouvelle orientation vers un modèle socioconstructiviste de l'apprentissage tendant à se généraliser à tous les degrés d'enseignement. Elle s'étend du primaire, avec « *La main à la pâte* » et le plan de rénovation de l'enseignement scientifique et technique à l'école (1996 et 2000), jusqu'aux classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) en 2014. Comme dans le premier degré, l'enseignement secondaire prétend donner une vision plus exacte de ce qu'est réellement la discipline, autrement dit sa nature, et contribuer à la formation du futur citoyen.

La question se pose désormais de savoir quelle importance est accordée à la partie culturelle dans l'enseignement des sciences et, en particulier, en physique-chimie. En effet, une dichotomie apparaît dans l'enseignement entre, d'une part, l'aspect culturel et, d'autre part, le fait indéniable que la physique-chimie demeure un corpus

cumulatif. En d'autres termes, la culture scientifique doit encore trouver sa place dans l'enseignement.

En 2001, la notion de culture scientifique apparaît pour la première fois explicitement dans le programme de seconde avec en arrière-plan une réflexion sur la nature des sciences. Ainsi la culture scientifique citoyenne ne consiste pas seulement en un corpus de connaissances des savoirs de base liés à la physique-chimie. Elle repose sur une certaine conception des sciences et plus précisément de la formation des savoirs scientifiques et de ce qui les différencie d'autres sphères de la connaissance. De ce fait, la partie introductive du programme de physique-chimie⁴ énonçait déjà :

« Définir la culture scientifique uniquement en termes de contenus — quels qu'ils soient — serait évidemment réducteur : l'enseignement scientifique doit montrer comment ces contenus sont élaborés, quels sont les protocoles expérimentaux et théoriques mis en place par la science au cours de son développement historique pour construire des représentations du monde qui permettent de transformer notre propre environnement avec l'efficacité parfois redoutable que l'on connaît, et en quoi ces protocoles sont spécifiques à la science ».

En 2005, la perspective de développer une culture humaniste et scientifique se retrouve dans la loi d'orientation et de programme pour l'avenir de l'école qui marque un tournant décisif au regard de la conception de l'enseignement. Il est écrit que :

*« la scolarité obligatoire doit au moins garantir à chaque élève les moyens nécessaires à l'acquisition d'un socle commun constitué d'un ensemble de connaissances et de compétences qu'il est indispensable de maîtriser pour accomplir avec succès sa scolarité, poursuivre sa formation, construire son avenir personnel et professionnel et réussir sa vie en société » dont le socle est marqué par : « Une culture humaniste et scientifique permettant le libre exercice de la citoyenneté ».*⁵

⁴ Bulletin officiel hors série n° 2, 30 août 2001,

⁵ Loi n° 2005-380 du 23 avril 2005 d'orientation et de programme pour l'avenir de l'école

Les derniers programmes pour la classe de Terminale générale et technologique ont pris effet à la rentrée 2012. Ils reposent sur le socle commun de compétences constitué de 7 piliers, dont la maîtrise de la langue, des langues étrangères, mais aussi la maîtrise des mathématiques et la culture scientifique et technologique. Le 7^e pilier du socle commun concerne l'autonomie et l'esprit d'initiative. Parmi les objectifs, ces programmes insistent particulièrement sur la démarche scientifique et sur la culture scientifique liée aux piliers du socle commun. Ainsi, le préambule du programme de physique-chimie de la classe de terminale de la série scientifique commence par :

« L'enseignement des sciences physiques et chimiques contribue à la construction d'une culture scientifique et citoyenne indispensable à une époque où l'activité scientifique et le développement technologique imprègnent notre vie quotidienne et les choix de société. »

La culture scientifique prend donc une place importante jusqu'au Baccalauréat, plus importante qu'elle ne l'était puisque les lycéens ont profondément changé. Aujourd'hui, l'essentiel d'une génération (85 % d'une classe d'âge) est au niveau du Baccalauréat, dont 20 % en série scientifique. L'enseignement ne peut donc plus être simplement une propédeutique à l'enseignement supérieur, il doit s'affirmer en tant que contact avec le monde contemporain. Ces quelques exemples montrent une évolution notable avec l'idée de citoyenneté. Il s'agit d'aider à la construction du citoyen par l'appropriation d'une culture scientifique qui lui permet de comprendre les enjeux des débats sociétaux impliquant les sciences, d'y participer et d'agir de manière responsable.

1.1.5 Comment cela se traduit-il sur le programme de Terminale S ?

En accordant moins de place aux cours magistraux et aux résultats quantitatifs, les programmes de la classe terminale de la série scientifique de 2012 marquent une évolution plutôt remarquable pour un certain nombre d'enseignants de physique-chimie.

D'une part, le programme donne l'occasion d'aborder des thèmes scientifiques plus contemporains de la physique-chimie, par exemple : l'effet Doppler, la spectroscopie infrarouge (IR) et de résonance magnétique nucléaire (RMN), la relativité restreinte, la stéréo-isomérisation et la physique quantique. En première S et terminale S, les trois grands thèmes sont : observer, comprendre, agir. Dans ces thèmes sont déclinés plusieurs sous thèmes, qui reprennent des points importants de la culture scientifique. L'enseignement semble ainsi actuellement beaucoup plus décloisonné qu'auparavant. Dans un thème, l'enseignant aborde des points qui sont liés à la physique, mais aussi des points qui sont liés à la chimie : il n'existe donc plus de barrière entre la physique et la chimie. Certaines thématiques en terminale qui étaient très importantes dans le programme de 2002 ont soit disparu comme l'électrocinétique avec les circuits RC, RL et RLC, soit fortement réduit comme la cinétique chimique ou l'oxydoréduction. Le programme n'est donc plus axé sur des notions de la discipline académique. Comme il est lié à la culture scientifique, il est axé sur des thématiques. L'idée est de s'appuyer sur la curiosité des lycéens vis-à-vis du monde qui les entoure en proposant des sujets qui sortent très largement des seuls acquis de la physique du XVII^e siècle. Au travers de cette approche, il ne s'agit pas de dresser un panorama exhaustif de la physique ni de faire une mise en équation complète des systèmes étudiés. Dès que cela est envisageable, l'enseignant doit mettre en situation ses élèves. Cette mise en activité passe par la réalisation d'observations ou d'expérimentations, mais aussi par le développement de travaux orientés vers des situations concrètes qui les amènent à devenir acteurs de l'apprentissage de leur propre savoir.

D'autre part, ces programmes s'en remettent assurément, dans la continuité du collège, à un enseignement fondé sur les compétences de la démarche scientifique. Ce sont des axes d'activités vers lesquels l'élève doit être constamment mené, avec comme support les sujets traités dans le programme :

- Transformation de l'information en connaissance ;
- Former la démarche scientifique dans le prolongement de ce que les élèves ont acquis ;
- Extraire et exploiter des informations (EEI) ;
- Se familiariser avec les raisonnements qualitatifs ;
- Développer l'analyse critique des résultats.

Les compétences EEI sont un élément clé de ce dispositif. Elles doivent permettre aux élèves d'acquérir un regard plus critique sur des énoncés et des résultats scientifiques. Partant de divers supports d'information, les élèves doivent réaliser une synthèse argumentée contribuant ainsi au développement de leur propre culture scientifique. Il ne s'agit pas de chercher des informations pour des informations, mais l'idée reste bien de chercher des informations qui vont conforter ou infirmer une hypothèse. Il s'agit d'apprendre aux élèves à rechercher l'information, ensuite, à trier, avoir un regard critique par rapport à l'information. Cette maîtrise de l'information semble bien un apprentissage en soi qui a sa place dans la démarche expérimentale.

La visée culturelle, mais aussi l'importance des compétences expérimentales et transversales, sont clairement précisées dans le préambule des programmes du lycée de la filière scientifique. Premièrement, les compétences des élèves se développent par l'analyse de documents, des résolutions de problèmes et la pratique de la démarche scientifique. Deuxièmement, un enseignement en salle de classe à des travaux pratiques en effectif réduit est préconisé, ainsi que la mise en pratique des situations problèmes où il s'agit de concevoir et réaliser des protocoles expérimentaux. Les programmes demandent donc de « *Pratiquer une démarche expérimentale* » et de « *Mettre en œuvre une démarche expérimentale* ». La démarche scientifique n'est donc pas simplement empirique, elle doit être expérimentale et ne peut donc être en ce sens purement inductive. Celle-ci est évaluée au baccalauréat lors de l'épreuve d'évaluation des compétences expérimentales (ECE), pendant laquelle l'élève est amené à :

« S'approprier et analyser une problématique, à justifier ou à proposer un protocole expérimental, à le réaliser, à porter un jugement critique sur la pertinence des hypothèses et des résultats en vue de les valider. Le candidat peut aussi être amené à faire preuve d'initiative et à communiquer en utilisant des langages et des outils pertinents » BO n° 7 du 6 octobre 2011.

Les enseignants n'évaluent plus un élève sur une situation nouvelle ou un exercice inédit dans le but de lui faire mettre en œuvre une réflexion s'appuyant sur des

connaissances de base acquises au cours de sa scolarité. Ils jugent sa capacité à utiliser ses connaissances avec les données qui lui sont fournies (y compris par l'évaluateur). Cet aspect n'existait pas précédemment et est apparu avec ces nouveaux programmes. Autrement dit, il s'agit d'évaluer une démarche et une pratique plus globales. L'élève est amené à être plus autonome et devrait ainsi avoir plus de facilité pour pratiquer des démarches expérimentales.

En résumé, le programme de physique-chimie amène plusieurs changements sur la structure de la connaissance à la fin du lycée. Il est notamment moins focalisé sur des points conceptuels de la discipline et plus lié à des objets et des situations empiriques. Cette approche beaucoup plus thématique apporte aux élèves, en particulier, une plus grande culture scientifique. En contrepartie, il semble probable que d'autres compétences soient moins développées et l'évolution la plus remarquable reste sans doute la difficulté des élèves à appréhender les calculs. Toutefois, les élèves, bien qu'ayant beaucoup moins de connaissances disciplinaires, sont plus à même de rechercher l'information, par exemple. Finalement, ces nouveaux programmes s'inscrivent bien dans une refonte complète de la façon d'enseigner les sciences de la 6^e jusqu'à la terminale.

1.2 La culture scientifique en débat

Pour bien saisir l'ampleur des enjeux à l'œuvre dans la diffusion de la culture scientifique, il semble important de mettre en parallèle l'évolution des programmes scolaires et l'état de la recherche scientifique à laquelle ils sont censés constituer une forme de propédeutique. Cette idée de « *culture scientifique* » pose des questions à de nombreux niveaux et n'épargne pas le champ même de la recherche en éducation qui doit se positionner par rapport à cette notion.

Il existe plusieurs termes pour la désigner et chaque expression renvoie à une certaine conception de la culture scientifique. En effet, en plus de l'expression culture scientifique, il existe d'autres expressions telles que la « *culture scientifique et technique* » ou la « *culture scientifique, technique et industrielle* ». Les Anglo-Saxons utilisent également les termes « *public understanding of science* » et « *scientific*

literacy » pour insister sur l'accès à une base commune minimale de connaissances. À quoi renvoie cette notion de culture scientifique ? Pour illustrer les questions qui se posent, prenons deux exemples, l'un dans le cadre d'analyse défini pour la mise en œuvre des tests PISA, l'autre dans les recherches de Bybee (1997) et Allchin (2011).

1.2.1 La culture scientifique dans PISA

Les tests PISA (*Programme for International Student Assessment*) élaborés par l'OCDE visent entre autres à tester la culture scientifique des élèves de quinze ans au niveau mondial. Un certain nombre d'éléments peuvent être mis en avant. Cette « *culture* » regroupe :

- « — *Les connaissances scientifiques de l'individu et sa capacité d'utiliser ces connaissances pour identifier les questions auxquelles les sciences peuvent apporter une réponse, pour acquérir de nouvelles connaissances, pour expliquer des phénomènes scientifiques et pour tirer des conclusions fondées sur les faits à propos de questions à caractère scientifique.*
- *la compréhension des éléments caractéristiques des sciences en tant que forme de recherche et de connaissance humaines.*
- *la conscience du rôle des sciences et de la technologie dans la constitution de notre environnement matériel, intellectuel et culturel.*
- *la volonté de s'engager en tant que citoyen réfléchi à propos de problèmes à caractère scientifique et touchant à des notions relatives aux sciences. »*⁶

Selon le programme PISA 2006, la culture scientifique fait référence à la connaissance et l'utilisation de ces connaissances pour identifier les questions scientifiques, pour expliquer les phénomènes scientifiques, et d'en tirer des conclusions fondées sur des données probantes sur les questions liées à la science. Elle se définit de plus par la compréhension des caractéristiques des sciences comme forme de connaissance et d'investigation humaine. À cela s'ajoute la prise de conscience de la façon dont les sciences et la technologie façonnent notre

⁶ OCDE (2007). *PISA 2006. Les compétences en sciences, un atout pour réussir*. Volume 1 — Analyse des résultats. Paris, Les éditions de l'OCDE <http://www.oecd.org/pisa/39777163.pdf> p. 39

environnement matériel, intellectuel et culturel, mais aussi la volonté de se livrer à des questions liées à la science. En conséquence, selon ce cadre conceptuel, cette culture vise en même temps les connaissances *en* sciences, autrement dit les savoirs et les méthodes scientifiques, et les connaissances *sur* les sciences elles-mêmes, comme toute activité humaine.

Si dans le nouveau cycle PISA 2015, nous retrouvons la mention des connaissances sur la façon dont les savoirs scientifiques sont produits, le caractère social et culturel apparaît moins et les connaissances *sur* les sciences sont divisées en deux composantes :

« – **connaissances procédurales** : connaissances concernant l'application de méthodes et procédures scientifiques, c.-à-d. connaissances en matière de conception de tests, d'erreurs de mesure, de techniques de contrôle
– **connaissances épistémiques** : connaissances portant sur les procédures et méthodes d'acquisition de connaissances et la preuve de leur bien-fondé à l'aide de données, p.ex. l'évaluation de la pertinence de résultats obtenus par des expériences scientifiques »⁷

Les connaissances désignées dans le monde anglo-saxon sous le terme de *Nature of Science (NoS)* font partie des programmes d'enseignement et sont précisées pour différents niveaux d'enseignement dans divers documents destinées aux enseignants (les standards d'enseignement aux Etats-Unis par exemple). Elles ne sont pas encore explicites en France.

1.2.2 La culture scientifique selon Bybee et Allchin

Dans la recherche en didactique des sciences, les chercheurs distinguent principalement deux niveaux d'appropriation différents sur lesquels repose la culture scientifique : la nature des connaissances (Bybee, 1997) et la capacité à les mobiliser (Allchin, 2011).

⁷ Informations sur l'étude PISA 2015 — Ministère de l'Éducation <http://www.men.public.lu/catalogue-publications/secondaire/etudes-internationales/pisa-2015/150203-brochure-pisa-fr.pdf>

L'approche de Bybee (1997) porte sur la structure de chaque discipline elle-même et les procédures d'élaboration de nouvelles connaissances scientifiques. Il établit en quelque sorte les normes de culture telles qu'on la conçoit habituellement. Il distingue plusieurs niveaux au travers desquels l'élève développe une compréhension des sciences et de la technologie de plus en plus sophistiquée. Le premier niveau comporte uniquement des connaissances scientifiques alors que le dernier niveau inclut également des connaissances sur la *NoS*. Il précise de plus que :

« *Ce cadre fonctionne comme une taxonomie pour les programmes et les pratiques existantes et comme un guide pour les programmes et l'enseignement.* » Bybee (1997, p. 84)

Ainsi, Bybee (1997) considère que la nature des sciences fait partie intégrante de la culture scientifique et donc que cette culture doit être perçue comme multidimensionnelle. Par ailleurs, une caractéristique très importante selon est de rejeter l'idée qu'une personne soit ou non, scientifiquement éduquée. Il considère plutôt que chacun reste, dans une certaine mesure, toujours cultivé scientifiquement.

Pour Allchin (2011), il s'agit d'être capable d'utiliser des connaissances pour penser ou agir dans différents contextes de la vie quotidienne. Il montre que les compétences d'analyse et d'esprit critique, fondamentales pour la culture scientifique, sont ainsi mises en exergue. Allchin met en avant la « *compréhension fonctionnelle de la pratique scientifique et sa pertinence pour la prise de décision* » (Allchin, 2011, p. 519), et que cette compréhension fonctionnelle nécessite une « *analyse des caractéristiques de la NoS* » (p. 519). Selon lui, cette visée du développement d'une culture scientifique, qualifié parfois aussi de « *critique* », doit être fondée sur des études de cas, notamment historiques ou contemporains. Allchin se distingue par la prise en considération des différentes approches existantes dans les classes. Cela le conduit à intégrer, en particulier, les contestations qui pourraient être soulevées et à chercher à faire évoluer l'enseignement en classe afin d'éviter une réaction de rejet des savoirs scientifiques.

1.3 À quels problèmes la diffusion de la culture scientifique est-elle confrontée aujourd'hui ?

Après nous être intéressé à ce que renvoie l'expression culture scientifique, nous tenterons de déterminer où nous en sommes dans cette diffusion aujourd'hui.

1.3.1 Les difficultés rencontrées par les enseignants

Les premiers effets de la réforme des programmes en terminale S ont donné lieu à de nombreux débats. L'Union des Professeurs de Physique et de Chimie (UdPPC) a notamment tenu un congrès à Orléans en 2013⁸. Elle y a présenté les résultats de son enquête auprès des enseignants du supérieur (licence, institut universitaire de technologie, sections de technicien supérieur, classes préparatoires aux grandes écoles) concernant les étudiants formés avec les nouveaux programmes de secondaire.

Parmi les points positifs évoqués par les enseignants dans les ateliers, notons que ces nouveaux programmes permettent une meilleure appréhension des objets et des problèmes de la discipline avec davantage d'initiatives des élèves. Ils apportent aussi une meilleure culture avec volonté d'élargissement des savoirs.

Quant aux nombreuses remarques critiques, elles portent essentiellement sur l'intuition en physique qui ressemble à celle de la science-fiction, les réponses aux questions sans travail de réflexion, et surtout, les lacunes en mathématiques qui sont profondes et induisent un découragement plus précoce. Ce découragement apparaît particulièrement sur des thèmes réputés complexes comme la cinématique, les forces, l'énergie, la loi de Coulomb, les lois de Kepler, etc. Cependant, le problème majeur reste que les enseignants ont l'impression que les programmes, notamment en première et terminale, couvrent un spectre si large qu'ils survolent les notions et concepts abordés. Cette difficulté a induit un fort sentiment d'avoir de moins en moins de temps pour aider les élèves en difficulté. La question reste de savoir comment développer des compétences telles que s'approprier, analyser ou réaliser. Cette synthèse, à vrai dire, ne fait que confirmer ce que certains enseignants du

⁸ Un compte rendu de cette table ronde est disponible sur le site national de l'UdPPC à l'adresse : <http://www.udppc.asso.fr/national/index.php/actualites-udppc/622--liaison-lyceeenseignement-superieur>

second degré craignaient depuis la réforme Chatel, mise en place à la rentrée 2010. Cette crainte avait donné lieu à la pétition de l'UdPPC en février 2013 pour un ajustement des programmes de première et terminale et l'allègement du programme de terminale.

En 2014, la commission Enseignement de la Société Française de Physique (SFP) a souhaité collecter les avis des enseignants du supérieur pour faire suite au changement du programme de physique-chimie au lycée. Elle a donc réalisé une enquête⁹ auprès de 268 enseignants de licence, de diplômes universitaires de technologie (DUT) et de classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) pour faire un état des lieux de l'impact de ces nouveaux programmes dans le supérieur. Parmi les 36 questions de l'enquête, nous retrouvons notamment un point sur l'évolution dans la démarche scientifique et la culture scientifique. À la question :

« Un des objectifs affichés de ces nouveaux programmes est de mettre l'accent sur la démarche scientifique et la culture scientifique, avez-vous constaté des évolutions chez vos étudiants liées à cet objectif ? »

Les enseignants de CPGE et de licence indiquent une évolution pour, respectivement, 51,7 % et 50,4 % d'entre eux, à la différence des enseignants d'IUT où seuls 31,8 % notent un changement chez leurs étudiants. Selon la conclusion de la SFP, nous observons dans les réponses de ces enseignants que l'aspect « *culture scientifique* » s'est amélioré, mais sans doute au préjudice de la démarche scientifique. La physique semble être désormais perçue comme uniquement centrée sur les contenus notionnels, et même pire comme « *une liste de problèmes et de formules pour les résoudre sans aucun rapport les uns avec les autres* ». Ne pourrions-nous pas faire l'hypothèse que cet aspect dépende des enseignants qui ne font pas assez de synthèse ou ne font pas réfléchir les élèves et ne mettent pas en avant cette démarche ? Cet état des lieux renvoie une image caricaturale des sciences. Dans ces circonstances, nous ne pouvons que nous interroger sur l'approche à adopter pour faire évoluer cette représentation.

⁹ L'enquête est disponible à l'adresse ci-dessous :
<https://www.sfpnet.fr/resultats-de-l-enquete-sfp-sur-l-impact-des-programmes-de-lycee-en-premiere-annee-d-enseignement-superieur>

1.3.2 L'acquisition des savoirs scientifiques de base et l'adhésion à ces savoirs

Le concept de *scientific illiteracy* (ou illettrisme scientifique) s'est développé avant tout dans les pays anglo-saxons, au cours de ces dernières années. À titre d'exemple, en 2012, une étude menée par la National Science Foundation (NSF) aux États-Unis révèle que cet enjeu scientifique de l'enseignement semble loin d'être atteint. En effet, elle montre que près d'un quart des 22 000 personnes interrogées (grand public) pensent que le soleil tourne autour de la Terre. En 2005, les Européens ne répondaient pas beaucoup mieux étant donné qu'à la même question posée par la Commission européenne sur le savoir scientifique, ils étaient près d'un tiers à se tromper :

« Face à l'affirmation suivante — “le Soleil tourne autour de la Terre” -, 29 % des personnes interrogées ont déclaré qu'elle était vraie. De la même manière, 17 % affirment que la Terre fait le tour du Soleil en un mois, au lieu d'un an. »¹⁰

En France, cet échec de la culture scientifique se comprend dans une certaine mesure, parce que l'acquisition d'une culture des sciences n'est apparue que dernièrement dans les programmes. Toutefois, selon Maurines (2010) d'autres explications peuvent également être avancées. Parmi celles-ci, nous avons estimé pendant longtemps que, pour enseigner la physique-chimie, il suffisait de transmettre de nouvelles connaissances aux élèves comme s'il s'agissait de remplir les esprits vides des élèves avec de nouvelles connaissances. Depuis plus de quatre décennies, les recherches internationales en éducation remettent en cause cette conception. En cours de physique-chimie, les élèves font couramment le lien entre les connaissances nouvelles et leur propre expérience qui s'ancre dans un contexte matériel, social et culturel. Leur apprentissage semble fortement influencé par des préjugés personnels sur le monde qui nous entoure. En 1938, Bachelard soulignait d'ores et déjà dans *La formation de l'esprit scientifique* qu'apprendre les sciences exige de rompre avec les évidences de la connaissance immédiate : *« Quand il se présente à la culture scientifique, l'esprit n'est jamais jeune. Il est même très vieux, car il a l'âge de ses préjugés. »* (Bachelard, 1938, rééd. 1986, p.16). L'esprit humain pour Bachelard ne

¹⁰ EUROBAROMÈTRE 2005 : *« Les Européens, la science et la technologie »*

rejette pas tout ce qu'il a appris et ce qu'il croit savoir. Ainsi, nous apprenons perpétuellement « *contre une connaissance antérieure.* »

De nos jours, l'objectif de l'enseignement n'est plus de les détruire, mais de s'appuyer sur eux. Pour autant, plusieurs études, Aikenhead (1996), Cobern (1996, 2000) et Brickhouse (2001) pointent que cet enseignement n'est pas naturel, car il présume d'atteindre à une culture qui s'oppose à la culture personnelle. En leur demandant de remettre en question leur façon de voir le monde extérieur, la physique-chimie risque de conduire au désintérêt, et même au rejet des élèves. À cet âge, ils se construisent et éprouvent le besoin de fortifier leurs certitudes. Par conséquent, ils ont un regard parfois assez négatif sur la physique, mais il ne tient qu'à une approche subjective en partie liée à leur propre expérience en dehors du cadre scolaire. En 2003, les recherches de Maury et Caillot font appel au contexte social dans lequel l'élève vit, autrement dit l'élève en tant qu'acteur social, mais aussi dans lequel les savoirs doivent être appris, autrement dit la structure destinée à l'apprentissage comme le collège ou le lycée. Selon Chabchoud (2001), la culture européenne prémoderne provoquerait des obstacles épistémologiques chez les élèves de certaines cultures non occidentales, marquées par une présence plus prégnante de la sphère religieuse. Ces obstacles ralentiraient le rapport d'adhésion au discours scientifique transmis par l'enseignant.

Parmi ces éléments personnels figure tout ce qui relève de la foi. Notre époque est marquée par un retour du religieux et les sociologues constatent depuis plusieurs dizaines d'années une recrudescence d'une pensée religieuse et métaphysique dans le monde entier. La religion est présente sur les questions de choix moraux et constitue pour certains une réponse face à leur demande de sens. Le problème apparaît lorsque la religion cherche à rivaliser sur le terrain de la science, comme certains croyants qui rejettent encore Darwin. Ainsi le vrai obstacle n'est pas tant le fait de contester les théories scientifiques, mais davantage de nier la démarche scientifique elle-même. Cette « *alterscience* », selon l'expression de l'historien des sciences Moatti (2013), s'oppose à toute démarche scientifique et elle conduit à l'instrumentalisation des sciences à des fins religieuses ou idéologiques. Ces théories « *alternatives* » forment une science « *altérée* » ou déformée qui peut n'être jamais remise en cause et alimenter les courants créationnistes, géocentristes et antirelativistes contemporains.

Ces résistances s'expriment fortement au travers d'attitudes superstitieuses, de méfiance face aux technologies et de l'essor du relativisme pour lequel « *tout se vaut* ». Moatti cite, par exemple, des études aux États-Unis qui viennent corroborer cette idée suivant laquelle les élèves font naturellement appel à la dimension religieuse. Elle se retrouve particulièrement dans les milieux créationnistes évangéliques qui se réfèrent au géocentrisme et s'obstinent à critiquer toutes les théories de l'astronomie en conflit avec leurs convictions religieuses. L'enquête de la NSF montre ainsi qu'à peine 39 % des Américains conçoivent que le big-bang serait à l'origine de l'univers, comme le suggère le modèle standard actuel.

Le développement de la culture scientifique en France n'a pas supprimé certaines doctrines d'ordre religieux, comme par exemple, la pensée créationniste. Selon le professeur Brunet du Collège de France, « *Il y a un courant créationniste très fort sur le continent nord-américain et il se révèle qu'il existe aussi chez nous* »¹¹. Pourtant, depuis le rapport Debray en 2002, l'accent est mis sur la nécessité de prendre en considération le fait religieux dans l'enseignement scolaire. Le rapport, intitulé « *L'enseignement du fait religieux dans l'école laïque* », a été écrit à la demande du ministre de l'Éducation nationale, Jack Lang. À l'intérieur se retrouve l'expression de Lionel Jospin en 1980, « *enseigner le Fait religieux* » qui renvoie à la dimension culturelle. Ce rapport avait déjà dressé un état des lieux de l'enseignement du fait religieux, nécessairement pluraliste et non confessionnel. Il était énoncé plusieurs propositions face aux résistances et contraintes. Encore récemment, le Conseil de l'Europe a rappelé dans la résolution du 4 octobre 2007 que les créationnistes continuent d'investir de plus en plus l'enseignement, notamment en cours de sciences et vie de la Terre. Ce problème concerne aussi les enseignants de physique-chimie lorsque, par exemple, des élèves choisissent en TPE de contester la théorie de l'évolution en s'appuyant sur des écrits créationnistes qui abondent sur internet.

1.3.3 L'idée de science

Malgré les diverses volontés, l'objectif de donner une image plus exacte des sciences est actuellement encore un vœu pieux. Elle est loin de correspondre à « *l'idée de*

¹¹ Journal chrétien, 17 mars 2008 par Yves Daoudal

science », pour reprendre l'expression utilisée par Larochelle et Désautels (1992). L'enseignement de physique-chimie continue de transmettre une image déformée de la nature des sciences, ce que révèlent les résultats décevants exposés par la NSF et PISA. Dans la mesure où les personnes ignorent ce qu'est la science, elles ne peuvent savoir que l'enseignement la travestit. Cet état de fait, conjugué à la mise en place d'une démarche expérimentale appauvrie donne, en plus, l'illusion d'une appropriation personnelle des résultats. Ainsi Jouary (1996) précise qu'à réduire les sciences à un corpus de résultats auxquels les gens sont tenus d'adhérer dogmatiquement, implique pour eux que les sciences sont juste une croyance comme une autre. Elle est légitimement ainsi mise sur le même plan que la religion :

« Apprendre aux élèves quels ont été les résultats des sciences, sans faire intérioriser la nature des obstacles qu'il a fallu vaincre pour y parvenir, les modes de pensée que cela a supposés, le cheminement conceptuel qui y a conduit — ce n'est pas enseigner les sciences, mais faire répéter leurs conclusions comme s'il s'agissait d'opinions. Dès lors, qu'on ne s'étonne pas du voisinage de la conception dogmatique de la vérité avec le relativisme le plus plat, et de la coexistence des diplômes scientifiques avec les croyances les plus archaïques. » (Jouary, 1996, p. 90)



En résumé, nous avons discuté dans ce chapitre de l'évolution de l'enseignement, de la culture scientifique et de la nature des sciences. Cette dernière s'entend à la fois au sens de connaissances à mobiliser (Allchin) et comme composante essentielle de la culture scientifique. Comme nous pouvons le constater, cette évolution peut se heurter à la résistance des enseignants et, en parallèle, au grand public dont le faible niveau scientifique peut créer des obstacles. L'activité scientifique ne correspond pas tout à fait à ce qui se passe actuellement en cours de science. En conséquence, l'idée de culture scientifique pour tous paraît, jusqu'à un certain point, inaccessible et complexe dans l'immédiat. Dans les chapitres qui suivent, nous verrons tout d'abord que les difficultés susceptibles d'être rencontrées par les élèves trouvent leur origine dans leur image de la nature des sciences. Nous chercherons ensuite de quel point de vue l'enseignement peut répondre aux critères d'une image plus authentique des sciences.

2. UNE IMAGE PARTIELLE ET DEFORMEE DE LA NATURE DES SCIENCES

« *Douter de tout ou tout croire, ce sont deux solutions également commodes, qui l'une et l'autre nous dispensent de réfléchir.* »

– Poincaré (1902, p. 2)

La didactique des sciences s'intéresse depuis ses débuts en France aux conceptions des élèves. Les travaux pionniers de Viennot (1977) et de Saltiel (1978) en mécanique concernaient l'enseignement supérieur et non l'école primaire ou le secondaire. Ils ont donc émergé de préoccupations de physiciens et de mathématiciens qui enseignaient à des étudiants, notamment de premier cycle. Ces chercheurs étaient en effet assez surpris de voir persister au sein de leurs groupes d'étudiants des difficultés qui leur semblaient devoir être dépassées à la sortie du Lycée. Afin d'aider les enseignants à les anticiper et à en tenir compte dans la définition de leur enseignement, ils les ont analysées et modélisées. Les difficultés qu'explorent les didacticiens ne concernent pas seulement les savoirs de la physique, mais aussi d'autres disciplines scientifiques ainsi que ceux en lien avec « *l'idée de science* ». Quelles sont donc les difficultés et formes de raisonnement mis au jour dans le domaine de la *NoS* dont nous devons tenir compte dans notre étude ?

2.1 L'image de la *NoS* des élèves

2.1.1 Conceptions ou représentations

Grâce aux études sur les difficultés que les élèves sont susceptibles de rencontrer dans les cours de sciences, la preuve n'est plus à apporter de l'existence d'un déjà conceptuel et de l'importance de sa prise en compte. En effet, de nombreuses publications didactiques montrent que les élèves à travers le monde tendent à rencontrer les mêmes difficultés, que celles-ci préexistent, s'adaptent et résistent à l'enseignement. Les didacticiens interprètent ces difficultés en supposant que les élèves se créent des images mentales et mobilisent des explications « *toutes faites* »

ou des idées « reçues ». Ils les appellent représentations (Astolfi et Develay, 1989), conceptions (Giordan et de Vecchi, 1987 ; Giordan, Girault et Clément, 1994) et les associent au sens commun (Viennot, 1996). Dans leur ouvrage, *les origines du savoir*, Giordan et de Vecchi (1987) caractérisent les conceptions ainsi :

« *La conception est un ensemble d'idées coordonnées et d'images cohérentes, explicatives, utilisées par les apprenants pour raisonner face à des situations problèmes, cet ensemble traduisant une structure mentale sous-jacente responsable de ces manifestations contextuelles* ». (Giordan et de Vecchi, 1987, p. 79)

Aucun élève n'est une « page blanche », il apporte un bagage d'idées, de savoirs superficiels sur le monde qui l'entoure, auxquels s'ajoutent des idées reçues sur les sciences et les scientifiques. Ces explications lui sont suffisantes tant qu'il n'est pas mis en situation d'en éprouver les limites. Pourtant, l'ensemble de ces représentations, ce « déjà-là » pour reprendre l'expression d'Astolfi et Develay (1989), peut être tronqué ou, radicalement, faux d'un point de vue scientifique. Dès lors, il peut poser problème. Il en est de même quand il s'agit de transmettre une image plus authentique de l'activité scientifique, voire même d'encourager les élèves à s'orienter vers les sciences. La physique et, en particulier, l'astronomie n'échappent pas à la règle : de très nombreux élèves abordent leur cours de physique avec un système de croyances et d'intuitions largement incompatible avec le cadre de référence de l'épistémologie contemporaine.

L'enjeu semble de taille puisqu'autant en Europe qu'aux États-Unis, de plus en plus d'élèves se détournent maintenant des études scientifiques (Boilevin, 2014). Parmi les raisons invoquées par ces derniers, notons qu'ils disent ne plus croire au progrès scientifique, jugent les sciences trop difficiles et les carrières scientifiques aliénantes. Pour enrayer ce phénomène, plusieurs instances comme l'Association Américaine pour l'Avancement des Sciences, le Conseil américain de la Recherche ou le Conseil de l'Europe soutiennent ardemment des projets d'étude à long terme.

L'étude des représentations, que ce soit *en* sciences ou *sur* les sciences, n'est pas sans poser problème et il existe dans la littérature internationale des débats sur la façon de

recueillir des données fiables et de les interpréter. La plupart des travaux vise à déterminer l'écart entre ce que l'enseignant souhaite véhiculer et la perception des élèves. Les outils mis en œuvre dans les évaluations sont souvent constitués de questions fermées ou à choix forcé avec un choix de réponses entre « *d'accord* »/« *pas d'accord* ». Ils comportent parfois des questions avec échelle de Likert ou des questions à réponses multiples (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell et Schwartz, 2002). Lederman *et al.* (2002) soulignent que les questions à choix forcé, qui sont faciles à évaluer dans les études à large échelle, supposent que les auteurs des tests et les spécialistes qui les testent soient d'accord sur les concepts et leur formulation, que ceux qui les renseignent en comprennent les termes.

Pour mettre en évidence les effets du vocabulaire et la nécessité de ne pas sous-estimer le contexte d'interrogation, prenons l'exemple de l'Eurobaromètre 2005. Les auteurs ont formulé sous deux formes différentes un des items de réponse à la proposition : « *pour chacun des sujets suivants, dites-nous à quel point, selon vous, il est scientifique (sur une échelle de 1 à 5).* » La moitié de l'échantillon avait un item « *astrologie* », tandis que l'autre moitié de l'échantillon avait l'item « *horoscope* ». 41 % des personnes invitées à répondre considèrent que l'astrologie est un sujet très scientifique (score 4 ou 5), et seulement 13 % pour le terme « *horoscope* ».

Nous ne développerons pas ici plus en détail les méthodologies de la majorité des études dans le domaine de la NoS et les questions qu'elles soulèvent. Nous nous contenterons de faire une synthèse des différentes analyses des réponses obtenues du point de vue des représentations. Nous présenterons quelques résultats relatifs aux représentations du scientifique, puis à celle des sciences.

2.1.2 La représentation des scientifiques

Quand en 1957 Mead et Metraux demandaient à des enfants de décrire un scientifique, leurs dessins représentaient presque toujours un homme barbu, plutôt vieux qui travaillait dans un laboratoire. Il portait des lunettes et une blouse blanche. Il était entouré de tubes à essai, de flacons, de becs Bunsen et de « *machines bizarres avec des cadrans* » (Mead et Métraux, 1957, pp. 386 — 387, cité par Hodson, 2008,

p 27). Aujourd'hui encore, Hodson (2008) indique que cette tradition du savant demeure solidement ancrée dans les représentations des élèves. Il cite, par exemple, l'étude menée par Chambers en 1983 auprès de 5 000 élèves de la région de Montréal. Celui-ci a demandé aux enfants de dessiner spontanément un scientifique, sans avoir au préalable orienté la conversation. Grâce à ce test du dessin (*Draw-A-Scientist Test, DAST*), Chambers a retrouvé les mêmes stéréotypes flagrants tels que les avaient identifiés Mead et Metraux dans les années cinquante¹². Or, cette représentation populaire a peu changé depuis les travaux de Mead et Chambers, excepté sur quelques détails. En effet, l'image traditionnelle du savant fou paraît moins présente, cette nouvelle image semble plus professionnelle et aseptisée, avec un accent croissant mis sur le secret scientifique, la guerre et l'activité scientifique du gouvernement. À cela s'ajoute l'idée d'une caution scientifique que nous retrouvons avec l'expression « *scientifiquement prouvé* » qu'ils ont vue dans les publicités diffusées à la télévision.

Par ailleurs, les élèves supposent généralement qu'un scientifique passe ses journées enfermé dans son laboratoire à faire des expériences. D'après Aikenhead, Fleming et Ryan (1987), mais aussi selon Désautels et Larochelle (1989, 1992), le scientifique aux yeux des élèves du secondaire, se caractérise par sa fantaisie et principalement par son génie. Il effectuerait un travail en solitaire afin d'améliorer notre vie quotidienne. Il aime faire des sciences simplement par curiosité ou pour essayer de comprendre la nature des choses. Son ambition est essentiellement de rendre le monde meilleur, bien avant de chercher la célébrité ou de bien gagner sa vie. En outre, les élèves lui attribuent aussi des qualités d'intégrité et d'honnêteté. Méthodique, rigoureux et ouvert d'esprit, il se démarque par la logique de sa pensée. En définitive, beaucoup d'élèves pensent que les sciences sont réservées à une élite. Cette image semble si dure pour les élèves qu'elle les découragerait à s'identifier à ces modèles.

Ryan (1987) s'est intéressé aux représentations des scientifiques. Ses résultats ont montré que la majorité des élèves estimait que les scientifiques devraient être préoccupés par les effets potentiels de leurs découvertes, et en particulier les effets

¹² Sur ce point, l'étude de Lafosse-Marin et Laguës (2007) aboutit à des résultats voisins en France.

néfastes. Les élèves pensent que les scientifiques sont responsables de leurs actions. D'autre part, Ryan a distingué des caractéristiques qui seraient liées à l'activité professionnelle scientifique et celles d'ordre privé. Certains élèves estiment que l'honnêteté et l'objectivité, étant nécessaires à l'accomplissement des sciences, pourraient déteindre sur les scientifiques qui ne doivent pas être intrinsèquement honnêtes ou objectifs. D'autres estiment que les scientifiques oublient ces caractéristiques au travail et seraient comme beaucoup d'autres dans la vie quotidienne. Pour arriver à ces données sur l'image du scientifique, Ryan et son équipe se sont en plus penchés sur la répartition des réponses en fonction du genre. De nombreux élèves interrogés (30 %), en particulier des filles, ont donné des raisons sociologiques à la situation. Un autre groupe (15 %) estimait que des différences génétiques expliqueraient pourquoi les filles étaient moins attirées par les sciences. Le troisième groupe (25 %) jugeait que les hommes et les femmes étaient aussi capables d'être de bons scientifiques.

Cette image du scientifique persiste en Europe et dans le monde anglo-saxon, malgré la diversité de la réalité professionnelle. Selon l'historienne Schiebinger (1999), les élèves considèrent qu'il néglige sa vie familiale, voire même qu'il ne s'occupe pas de ses enfants. Il n'est pas capable de dialoguer avec d'autres personnes non scientifiques. Finalement, alors qu'ils ont pour lui beaucoup d'estime pour ses capacités intellectuelles, ils égratignent son image en le critiquant sur ses attitudes et comportements sociaux, voire éthiques. Ces représentations contribueraient à éloigner certains élèves de classes sociales défavorisées des carrières scientifiques, et ce, même parmi les plus doués. Elles restent très préjudiciables aux filles. Les études sur le genre et les sciences, comme celle de Schiebinger (1999) ou Miller *et al.* (2006), confirment une faible attirance des filles vers les sciences. Ces représentations évoluent, cependant, progressivement pour des étudiants plus âgés, en lien avec des interventions éducatives focalisées sur le genre, l'ethnie et les handicaps (Bohrmann et Akerson, 2001 ; Bodzin et Gehringer, 2001).

2.1.3 Représentations des sciences

Dans l'esprit de beaucoup d'élèves, les sciences, tout particulièrement la physique, nécessitent beaucoup de rigueur et de logique. Dans les meilleurs des cas, il s'agit uniquement pour eux de réaliser des calculs, d'analyser les résultats et de les confronter aux données expérimentales. La physique semble réputée difficile, car elle est considérée très souvent comme une matière de sélection, voire de compétition. Le rôle de l'intuition, de la créativité et de l'imagination semble être secondaire. Inévitablement, les élèves risquent d'en garder une image faussée et peu attrayante. D'ailleurs, de nombreuses recherches internationales (Lederman, 1992, 2007 ; Laroche et Désautels, 1992 ; Guilbert et Meloche, 1993) montrent que les élèves ont généralement une vision réaliste « naïve » et empiriste des sciences. La plupart envisagent encore le processus d'élaboration des savoirs scientifiques comme opérant dans un vide social. Le plus souvent, ceux qui prennent en compte la dimension collective de l'activité scientifique ne discernent pas les oppositions entre les deux aspects. De ce courant de recherches sur « *l'idée de science* », nous avons retenu plusieurs études qui explorent les représentations selon trois directions : la structure du savoir scientifique et son mode d'élaboration d'une part ; la nature du savoir et le rapport à la réalité d'autre part et enfin le rapport entre les sciences et les croyances.

2.1.3.1 Structure du savoir scientifique et mode d'élaboration

Une grande partie des recherches entreprises dans ce domaine porte à la fois sur la représentation de la nature des connaissances scientifiques, mais aussi sur celle de leurs modes d'élaboration, considérant que ces deux aspects de la vision des sciences sont indissociables. L'étude de Carey et Smith en 1993 caractérise notamment le degré de compréhension des élèves de la nature du progrès théorique et du rôle des idées dans l'activité scientifique à l'aide de trois niveaux.

Au premier niveau de compréhension, la connaissance scientifique consiste en une simple collection de faits sur le monde afin d'en tirer une généralité. Dès lors, il n'existe pas de différenciation claire entre théories, hypothèses, et résultats expérimentaux. Les élèves n'ont pas conscience que les scientifiques doivent avoir une idée préalable de ce qu'ils recherchent. Plus précisément, ils ne semblent pas

avoir encore saisi que l'observation n'est pas neutre, et qu'elle doit être dirigée par une hypothèse préalable. Les élèves ont tendance à considérer les scientifiques comme réalisant des expériences de laboratoire et observant soigneusement ce qu'il se passe. Le progrès scientifique résulte ainsi d'une simple accumulation de faits. À ce niveau, les élèves sont persuadés que la connaissance que nous avons des choses est nécessairement certaine et qu'il n'existe qu'une seule réalité objective.

Au deuxième niveau, la connaissance scientifique n'est plus considérée comme une collection de faits, mais comme un ensemble d'idées testées scientifiquement. Les scientifiques font des expériences pour voir si leur idée semble juste, sinon ils sont prêts à la revoir ou directement à l'abandonner. Outre la valeur des idées, ce sont donc les notions d'explication et d'hypothèses qui apparaissent au cœur de ce niveau. Parmi ces notions, deux types de questions apparaissent chez les élèves : comment les choses fonctionnent-elles ? Pourquoi les choses se produisent-elles ? Ainsi, les élèves associent clairement le rôle des idées dans l'expérimentation à celles concernant les données expérimentales et non pas à celles portant sur les théories. Bien que les élèves aient conscience du rôle joué par les explications dans le développement des connaissances scientifiques, ils ne parviennent guère à comprendre clairement le rôle de la théorie dans l'élaboration des savoirs et ils ne distinguent pas immédiatement théorie et hypothèse.

Au troisième niveau, la connaissance scientifique suppose des théories sur le monde. Celles-ci ne doivent pas seulement expliquer les phénomènes connus, mais également être utilisées pour prévoir de nouveaux faits. Pour ce niveau, Smith, Maclin, Houghton et Hennessey (2000) précisent que :

« Une théorie est conçue comme un cadre explicatif cohérent qui se compose d'un réseau d'entités théoriques hypothétiques utilisé pour expliquer un modèle de données » (Smith, Maclin, Houghton et Hennessey, 2000, p. 357)

Les élèves de ce niveau sont amenés à comprendre que les théories guident entièrement les différentes perspectives et résultats de la recherche scientifique, de la formulation d'hypothèses à l'interprétation des résultats. Plutôt que de juger les

théories « *bonnes* » ou « *mauvaises* », les scientifiques les considèrent comme des cadres plus ou moins utiles pour l'explication de certains phénomènes physiques. Par conséquent, au niveau 3, les élèves reconnaissent le caractère rigoureux de la démarche scientifique, tout en étant néanmoins conscients que la connaissance scientifique s'accompagne d'incertitude sur les données, les mesures, ou bien même les résultats.

Ces trois niveaux de compréhension épistémologique forment une progression continue. Le premier serait typique des élèves de primaire et le troisième serait celui des étudiants de l'enseignement supérieur. Mais si les élèves les plus jeunes partagent l'idée que les sciences correspondent à un processus inductif caractérisé par des observations prolongées, rigoureuses et systématiques (niveau 1) dans l'ensemble, les élèves du secondaire n'atteignent pas le niveau 3. Ainsi dans l'étude de Grosslight *et al.* de 1991 citée par Carey et Smith, les deux tiers des élèves de 7^e année (équivalent à la classe de cinquième) ne dépassent pas le niveau 1 tandis qu'un quart des élèves de 11^e année (classe de première) y sont encore, l'autre partie étant pour moitié au niveau 2 et pour moitié dans un niveau mixte, intermédiaire entre les niveaux 1 et 2. L'élément, sans doute le plus surprenant, reste qu'aucun étudiant de première année d'université n'a rempli les critères du niveau le plus élevé. À la fin de l'enseignement secondaire, la majorité des élèves ne reconnaissent pas le rôle des théories dans le progrès scientifique et pour eux seule l'observation rend légitime une théorie. En France, Roletto, Cros et Lefranc¹³ constataient déjà en 1995 cette vision empiriste et réaliste naïve des étudiants :

« La science découle des faits et des données empiriques, considérés comme des descriptions neutres de situations objectives, existant en dehors de tout cadre théorique. Nous sommes donc face à des étudiants dont la vision de la science s'apparente au positivisme empirique... Leur "science" est une science d'observation expérimentale, rigoureuse, objective : elle ne valide peu, elle ne met jamais en doute, elle ne connaît ni erreur ni limite. » (Roletto, Cros, Lefranc, 1995, p. 41)

Plus récemment, en 2008, des résultats analogues ont montré que les étudiants de 1^{re} année en science à Taïwan ont des représentations erronées des natures théorique et contingente des sciences. Liu et Tsai ont catégorisé les différentes représentations épistémologiques des étudiants (*scientific epistemological views, SEV*) selon 5 dimensions :

1. le rôle de la négociation sociale ;
2. la réalité inventée et créée ;
3. l'exploration de la charge théorique ;
4. les impacts de l'activité culturelle ;
5. l'évolution des caractéristiques.

Les données de Liu et Tsai portent sur deux universités et un total de 220 étudiants de première année répartis en 42 % de scientifiques et 58 % de non scientifiques. L'étude a révélé des différences significatives dans les dimensions des SEV selon les disciplines choisies par les étudiants : non-scientifique, science pure, et enseignement des sciences. Les étudiants en sciences ont plus souvent une vision un peu naïve ou simple de la charge théorique de l'expérience et de la dimension culturelle par rapport aux autres étudiants non scientifiques, comme ceux en beaux-arts ou en sciences humaines. Les étudiants de l'enseignement des sciences ont obtenu les résultats les plus faibles des groupes. Cette étude laisse entendre qu'en sciences, les étudiants baignent dans un environnement épistémique où les connaissances scientifiques sont considérées comme objectives et universelles. Nous estimons cependant probable que ces représentations conduisent plus facilement ces étudiants à envisager de poursuivre des études scientifiques.

2.1.3.2 Nature/statut du savoir : rapport à la réalité

Les publications les plus connues concernent le caractère provisoire des connaissances scientifiques et l'ancrage empirique des sciences. En 1990, Lederman et O'Malley ont réalisé une étude exploratoire sur les représentations des lycéens américains à propos des hésitations et des doutes qui constituent immanquablement une part essentielle du travail scientifique, ainsi que des basculements théoriques qui peuvent surgir en sciences. 36 garçons et 33 filles de la 9^e à la 12^e année

d'enseignement¹⁴ qui suivaient des cours de physique, chimie et biologie ont répondu à un questionnaire au cours de la deuxième semaine de l'année scolaire. Les chercheurs ont utilisé un questionnaire ouvert qui abordait sept points concernant les croyances naïves¹⁵ sur la nature provisoire du savoir scientifique. Le même questionnaire a été répété au cours du dernier mois de l'année scolaire. Après avoir passé en revue les réponses des élèves, les chercheurs ont choisi 20 élèves pour participer à des entretiens filmés. Les données recueillies lors du pré-test semblent indiquer que le point de vue des élèves n'est pas tranché, autrement dit que les connaissances scientifiques possèdent les deux caractéristiques : soit absolues, soit provisoires. Contrairement au pré-test, les résultats du post-test démontrent une adhésion plus claire au caractère éphémère des connaissances scientifiques. L'évolution observée entre les deux tests suscite un intérêt certain, mais les auteurs notent qu'une attention accrue doit être portée à l'évaluation de la perception des sciences par les élèves, qui reste particulièrement délicate. L'étude a en effet montré que la langue est souvent utilisée différemment par les élèves et les chercheurs. Ce décalage a sans doute conduit auparavant à une mauvaise interprétation des élèves ou à une interprétation abusive des chercheurs.

Cette connaissance sur le caractère évolutif des savoirs scientifiques fait partie intégrante de la culture scientifique mais ne suffit pas. Les élèves ont tendance à faire des sciences un processus plutôt laborieux de confirmation ou d'infirmité d'idées déjà bien établies et à ignorer que la créativité a aussi sa place dans l'activité scientifique. Ainsi, l'enseignement ne permet pas aux élèves d'acquérir une image précise et complète des sciences. D'autant qu'une des difficultés courantes reste de ne pas transmettre une représentation relativiste.

Les études anglo-saxonnes sur les modèles en physique-chimie ont montré également que les élèves entretiennent souvent des conceptions erronées. Grosslight, Unger, Jay et Smith (1991) ont mis en évidence des difficultés à comprendre les rapports entre modèle, monde empirique et monde théorique. Une tendance réaliste se développe chez certains élèves. Ils considèrent le modèle comme une réalité empirique qui représente l'objet ou le phénomène étudié. Lorsque les chercheurs leur ont demandé

¹⁴ Ces classes correspondent aux classes de la troisième à la terminale

¹⁵ Il est nécessaire de préciser le sens de naïf : relatif à la pensée « commune » dans le champ de l'épistémologie.

un exemple de modèle, certains élèves ont proposé des modèles non scientifiques, tels que des modèles de vêtements ou des modèles de jouets. Par ailleurs, Treagust, Chittleborough et Mamiala (2002) ont montré que les élèves considéraient les modèles essentiellement comme des outils d'apprentissage et qu'ils avaient finalement une compréhension très limitée de leur rôle au sein de la communauté scientifique.

2.1.3.3 Sciences et croyances religieuses

Si les chercheurs en science de l'éducation conviennent pleinement de la nécessité de prendre en considération la diversité des élèves, tout comme les facteurs sociaux et culturels, dans l'étude de leurs représentations, certains d'entre eux accordent une réelle importance à la dimension religieuse. Les recherches qualitatives portant sur la compréhension des élèves, et leur adhésion, à des thèmes porteurs de questions vives mettent en évidence des difficultés à différencier les registres explicatifs scientifique et religieux. Parmi ces thèmes figurent, entre autres, ceux de la théorie de l'évolution ou de la cosmologie du big-bang. Ces thèmes peuvent servir de point de départ pour aborder les représentations entre sciences et croyances, car ils sont généralement liés à des questions d'ordre existentiel. Par exemple, Hansson et Redfors (2007) ont interrogé des lycéens suédois (âgés de 18 à 19 ans) pour connaître leurs opinions et leurs idées sur la compatibilité de la physique et de la croyance en Dieu. Ils devaient exprimer à la fois leur propre point de vue et la vision qui prévaut chez les scientifiques. Hansson et Redfors indiquent que les élèves considèrent le scientisme comme un présupposé nécessaire à la physique, ce qui les amène à une représentation conflictuelle entre la physique et la religion. Il ne leur semble pas possible de combiner une vision scientifique de l'univers avec une conviction religieuse.

Le regard que les élèves portent sur les sciences est également influencé par leur propre vécu, la culture dans laquelle ils évoluent, et bien sûr leur religion. Très récemment, en Grande Bretagne, en 2014, Hanley, Bennett et Ratcliffe ont cherché à savoir si l'arrière-plan religieux jouait un rôle important sur les représentations des origines mêmes de la vie et de l'univers. Les auteurs se sont appuyés sur des questionnaires et des entretiens qu'ils ont soumis à plus de 200 élèves âgés de 14 à 16 ans appartenant à quatre établissements présentant un contexte différent : une école

de confession chrétienne, une école non confessionnelle à majorité musulmane, et deux autres non confessionnelles à population mixte chrétienne ou musulmane.

Les résultats suggèrent que certains élèves sont plus susceptibles d'être créationnistes. La plupart des élèves non croyants estiment que l'être humain demeure un aboutissement de millions d'années d'évolution, sans intervention divine. La majorité des élèves chrétiens a considéré que les humains sont le fruit d'une évolution guidée par Dieu et ayant duré des millions d'années. Enfin, une large majorité des élèves musulmans a estimé que Dieu a créé seul les humains à peu près dans leur forme actuelle. Cette tendance dépend de l'école fréquentée. Plus de 80 % des élèves de l'école à majorité musulmane adhèrent au créationnisme. Près de 60 % des élèves de l'école confessionnelle chrétienne croient que Dieu a d'une façon ou d'une autre influencé le développement de l'Homme. Seulement un quart des élèves de cette école considère que Dieu n'est pas intervenu dans la création. Quant aux élèves des deux écoles à population mixte, la moitié accepte la théorie de l'évolution, mais un tiers pense que Dieu joue un rôle dans l'évolution de l'Homme. Un dernier résultat a surpris les chercheurs : une minorité importante (10 %) croit au créationnisme strict.

Les auteurs ont également cherché à dégager une typologie d'élèves tenant compte de leurs conceptions de la relation entre sciences et religion, allant de l'idée d'harmonie à celle de l'incompatibilité, de leur tolérance face à l'incertitude et de leur ouverture d'esprit. Sur cette base, les élèves ont été classées en quatre catégories :

- *Resistors* : ces élèves considèrent que les opinions scientifiques et religieuses ne peuvent pas ou ne devraient pas être conciliées. La plupart des élèves musulmans interrogés étaient dans cette catégorie. Ils ont estimé qu'il était inapproprié de contester quelque chose de si fondamental dans leur vie.
- *Confused* : ces élèves évoquent une compréhension floue et incertaine. Ils se sentent parfois mal à l'aise face à ces questions complexes car souvent ils n'y ont pas réfléchi. Leur vision scientifique semble parfois en contradiction avec leurs croyances religieuses. Dans les quatre écoles, les chercheurs ont trouvé des élèves qui ont des difficultés à concilier les deux lignes de pensée.
- *Reconciled* : ces élèves en sont véritablement arrivés à un compromis entre leurs convictions religieuses et scientifiques, leur permettant ainsi d'accepter les deux.

Leur approche paraît prudente et reste fondée sur les faits. Dans leur vision du monde, sciences et religion sont en harmonie.

- *Explorers* : ces élèves désirent mettre en perspective l'ensemble des points de vue, qu'ils soient religieux ou scientifiques. Ils n'ont pas de ferme conviction et ne sont pas particulièrement attachés aux faits, mais ils jaugent constamment les deux. Ils sont donc à l'aise avec un manque de détermination et ils sont disposés à remettre en question leur conception.

L'apprentissage en sciences de ces élèves est impacté par leur vécu quotidien. En effet, certains d'entre eux résistent encore à certaines théories scientifiques en raison de leurs croyances religieuses. Pour éviter de les perdre, les auteurs estiment que la compréhension de la théorie de l'évolution doit être renforcée. Pourtant les enseignants ne sont pas toujours armés pour répondre aux élèves qui ont parfois besoin d'aide pour résoudre ces conflits et leurs enjeux. Les auteurs concluent que l'étude confirme une nouvelle fois l'importance du rôle de l'enseignant. Celui-ci doit être conscient de la complexité de ces questions, qu'un public parfois silencieux n'atteste pas nécessairement d'une acceptation des savoirs scientifiques établis. Plutôt que de se demander si les opinions religieuses doivent être absentes des cours de sciences, la question porte pour eux sur la possibilité de ne pas parler de religion en classe.

2.2 Les enseignants n'échappent pas à une vision « naïve » des sciences

Si les représentations communes des sciences sont si peu conformes à celles d'une épistémologie contemporaine, cela témoigne avec force de la nécessité de développer une véritable réflexion sur la nature des sciences. Cependant, cette réflexion se heurte elle aussi à des difficultés, en particulier à celles des représentations et des attitudes des enseignants. Parfois sans même le réaliser, ceux-ci entretiennent des représentations erronées au sujet des scientifiques et de la façon de pratiquer les sciences. Ainsi, selon Lederman (1992), la première évaluation des représentations des enseignants a eu lieu dès 1950 par Anderson, bien avant celle des élèves. Depuis, elles ont été suivies d'un grand nombre d'études et de résultats jusqu'à aujourd'hui

(Schmidt, 1967 ; Kimball, 1968 ; Carey et Stauss, 1970 ; Billeh et Hasan, 1975 ; Rubba et Andersen, 1978 ; Elghordaf, 1985 ; Brickhouse, 1990 ; Lederman, 1992 ; Arora et Kean, 1992 ; Dager et Cosman, 1992). Akerson *et al.* (2000) précisent que les chercheurs ont commencé à se rendre compte du rôle des enseignants en tant que principaux intermédiaires dans l'application des programmes d'enseignement scientifique. D'autres études sont venues confirmer que les enseignants, dans le contexte de leur compréhension et de leur pratique en classe, influencent dans une large mesure l'apprentissage des élèves (par exemple, Merrill et Butts, 1969 ; Ramsey et Howe, 1969). Cette prise de conscience a permis de mieux diriger l'attention des chercheurs vers l'évaluation de l'image de la *NoS* des enseignants (Akerson *et al.*, 2000).

2.2.1 Quelles représentations chez les enseignants ?

Les programmes actuels de l'enseignement de physique-chimie valorisent la dimension pratique et la démarche scientifique, ainsi que l'élaboration collective et l'argumentation, afin d'amener les élèves à distinguer les sciences des autres savoirs. Ils s'éloignent des pratiques éducatives largement recommandées et mis en œuvre au ^{xx}e siècle, mais parfois encore en cours de nos jours, où l'enseignement s'appuyait sur l'induction.

Quels que soient les instruments d'évaluation utilisés, les recherches ont montré à plusieurs reprises que l'image de la *NoS* des enseignants du primaire et du secondaire n'est pas conforme à l'image actuelle de la *NoS* (par exemple, Abd-El-Khalick et BouJaoude, 1997 ; Aguirere, Haggerty et Linder, 1990 ; Pomeroy, 1993). Dans certains cas, les résultats des enquêtes chez les enseignants ne sont pas différents de ceux de leurs élèves, parfois même inférieurs (par exemple, Miller, 1963). Les enseignants ont des représentations « naïves » sur plusieurs aspects importants des sciences. Une proportion importante d'enseignants, par exemple, n'a pas retenu le caractère provisoire de la connaissance scientifique. Au contraire, ils croient souvent que les sciences sont un ensemble de connaissances qui ont été « prouvées » (Aguirere *et al.*, 1990). En France, les travaux de Roletto (1998) tendent à montrer

également que les représentations spontanées des enseignants en formation sont fondées sur des modèles épistémologiques proches du sens commun :

« La majorité des sujets partage un point de vue empiriste, quant à la nature des connaissances scientifiques ; réaliste, quant à leurs objets ; inductiviste, quant à leurs démarches ; relativiste et contextualiste, quant à leur statut. En outre, les sujets accordent très peu d'importance à la dimension sociale des sciences et aux aspects créatifs de l'activité des scientifiques ». (Roletto, 1998, p.11)

Abd-El-Khalick et BouJaoude (1997) ont montré que beaucoup d'enseignants entretiennent des représentations « naïves » sur la signification ou la fonction des théories et des lois scientifiques. Elles impliquent un système de relations hiérarchiques entre ces deux concepts, dans lequel les théories deviennent des lois par accumulation de preuves. Pomeroy (1993) convient que la majorité des enseignants a toujours une vision assez idéaliste des démarches. De façon générale, Lederman (1992), puis Abd-El-Khalick et BouJaoude (1997), ajoutent que certains enseignants sont amenés à croire qu'il existe une sorte de procédure universelle d'étapes à suivre. Ils suivent une « *méthode scientifique* » pour « *faire de la science* », en négligeant l'aspect créatif et imaginaire de la démarche scientifique.

2.2.2 Faut-il voir un lien entre représentations et pratiques ?

Comme le rappelle la publication de septembre 2015 de l'OCDE¹⁶, il existe toujours des écarts entre les convictions et les pratiques des enseignants. En effet, même si beaucoup d'enseignants partagent l'idée d'une approche constructiviste de l'apprentissage, ils ne la mettent pas nécessairement en pratique. Bien souvent en travaux pratiques de physique, ils transmettent l'idée reçue que la connaissance s'acquiert par une observation neutre, derrière laquelle se cache une réalité intrinsèque et objective.

Dans l'objectif d'atténuer cet état de fait, des efforts ont été menés aux États-Unis pour améliorer l'image de la nature des sciences des enseignants (Akerson, Abd-El-

¹⁶ <http://www.oecd.org/fr/edu/scolaire/TiF-13-Convictions-et-pratiques-pedagogiques.pdf>

Khalick et Lederman, 2000). Pourtant, celle-ci ne semble pas être au centre des pratiques des enseignants, même si la plupart y portent un réel intérêt. Même ceux pour lesquels cette image est jugée importante accordent plus d'importance aux savoirs scientifiques qu'aux enjeux de leur élaboration. Cette absence de relation étroite entre représentations et pratiques de classe figure parmi les conclusions de Lederman *et al.* (1998). Nous retenons essentiellement de ce dernier que les enseignants semblent avoir des pratiques qui peuvent évoluer rapidement, notamment en favorisant l'introduction d'aspect historique montrant le fonctionnement des sciences. L'élément important est de reconnaître que la relation entre les représentations de la *NoS* et la pratique des enseignants en classe n'est pas claire, car elle est affectée par un large éventail de conditions situationnelles et d'exigences pédagogiques. Ainsi l'image de la *NoS* n'est qu'un facteur parmi d'autres qui influence leurs pratiques et, en retour, ces pratiques peuvent faire évoluer l'image de la *NoS* des enseignants.

2.3 D'où viennent ces représentations « naïves » ?

L'état des lieux précédent met en lumière la persistance de nombreux lieux communs sur la constitution des sciences. L'image que nous nous faisons communément de la nature des sciences, et qui est admise du grand public, est tronquée. Inévitablement, la question se pose alors de savoir d'où viennent ces représentations et comment elles sont transmises. Il semble cependant très difficile de déterminer précisément tous les facteurs qui en sont à l'origine. Le plus souvent, elles ont un lien étroit avec le vécu individuel de chacun et son interaction avec l'environnement social, culturel et religieux. Inspirés par la psychologie cognitive et l'épistémologie historique, dont les pères fondateurs sont Piaget et Bachelard, les didacticiens, tels qu'Astolfi et Develay (1989) ou Brousseau (2003), considèrent que les conceptions ont de nombreuses provenances. Les principales conceptions sont habituellement psychogénétiques (Piaget), épistémologiques (Bachelard), sociologiques (Moscovici) et psychanalytiques (Freud).

Dans l'ensemble, les élèves, les enseignants et les chercheurs scientifiques sont tous modelés subconsciemment par ces images et ces modèles issus de représentations

« naïves » des sciences véhiculées dans la société. Elles sont intégrées dès le plus jeune âge et sont transmises consciemment ou inconsciemment par les livres scientifiques, les manuels, de même que par les médias et les scientifiques eux-mêmes, qui n'offrent pas toujours une image fidèle des sciences. Notre objectif dans ce qui suit est de proposer seulement quelques pistes dans le cadre des recherches en éducation pour aider à mieux comprendre pourquoi, du grand public aux enseignants, certaines représentations erronées se rencontrent alors même que l'enseignement scolaire aurait dû les dissiper.

2.3.1 Du cadre scolaire

Il y a plus de 30 ans de cela, en 1984, Nadeau et Désautels estimaient déjà que l'apprentissage des sciences à l'école était « *constitué de clichés épistémologiques* », constituant « *une sorte de mythologie des temps nouveaux* ». Ces clichés classés, en cinq catégories différentes, offraient une vision qui s'apparente au scientisme :

1. le réalisme naïf : les sciences révéleraient le réel tel qu'il est ;
2. l'empirisme béat : la patiente observation des faits et leur cumul mèneraient à l'élaboration des lois et théories ;
3. le vérificationnisme crédule : les hypothèses seraient définitivement vérifiées par l'expérimentation ;
4. l'idéalisme aveugle : le chercheur serait généralement désintéressé et totalement objectif ;
5. le rationalisme abusif : le progrès scientifique s'accomplit uniquement par la rationalité, sans laisser place à l'imagination et la créativité.

De même, différents chercheurs, tels que Lederman, Clough ou McComas, se sont penchés sur les représentations courantes des sciences. À ce titre, Clough (1997) a mis en évidence certaines d'entre elles :

- les sciences fournissent à la société des instruments et processus qui améliorent la vie quotidienne (par exemple, les sciences sont assimilées à la technologie) ;
- les meilleurs scientifiques sont toujours ouverts, logiques, objectifs et impartiaux dans leur travail ;

- les théories scientifiques deviennent des lois avec suffisamment de preuves, une méthode scientifique spécifique existe, ce qui explique le succès des sciences ;
- les sciences apportent des certitudes absolues et définitives ;
- les idées scientifiques sont exclusivement et sans ambiguïté déterminées par des données empiriques et des découvertes (autrement dit en ignorant le caractère créatif des idées en science)

L'étude de manuels scientifiques américains a permis à McComas de définir en 1998 une série de « mythes » scientifiques : « *les mythes de la science qui sont présentés ici sont généralement dans les manuels de sciences, dans les discours de classe et dans l'esprit des adultes américains.* »¹⁷ (McComas, 1998, p. 53-70). Selon McComas, les manuels scolaires distillent notamment l'idée qu'il existerait une méthode scientifique. Il a mis en lumière que les lois scientifiques, ou les savoirs sont hissés au rang de vérités incontestées et incontestables, et que les preuves qui s'y rapportent le sont pareillement. Or, non seulement quelques-uns de ces mythes sont très probablement imputables aux omissions ou aux erreurs des textes des manuels scolaires, mais parfois, même, ils sont dûs au fait qu'ils apparaissent explicitement ou implicitement dans les textes. Cette tendance se retrouve également en France où Robardet (1995) et Roletto (1998) relèvent que la démarche utilisée dans la plupart des manuels des années 1990 semble très imprégnée d'inductivisme.

McComas incite donc les enseignants à identifier une quinzaine de représentations courantes afin de prendre en considération les valeurs transmises par l'enseignement et non à les négliger :

-
- 1. les hypothèses deviennent des théories qui deviennent à leur tour des lois ;**
 - 2. les lois scientifiques et autres idées sont absolues ;**
 - 3. une hypothèse est une prévision ;**
 - 4. une méthode scientifique générale et universelle existe ;**
 - 5. les preuves soigneusement accumulées aboutissent à la certitude ;**
 - 6. les sciences et leurs méthodes fournissent la preuve absolue ;**
 - 7. les sciences sont plus procédurales que créatrices ;**
-

¹⁷ Dans le chapitre 3 intitulé « *the principal elements of the NoS: dispelling the myths* »

8. les sciences et leurs méthodes peuvent répondre à toutes les questions ;
9. les scientifiques sont particulièrement objectifs ;
10. les expériences sont la principale voie de la connaissance scientifique ;
11. les conclusions scientifiques sont examinées pour en vérifier l'exactitude ;
12. l'acceptation de la nouvelle connaissance scientifique est assez simple ;
13. les modèles scientifiques représentent la réalité ;
14. les sciences et la technologie sont identiques ;
15. l'activité scientifique est une activité essentiellement solitaire.

Tableau 1 : les 15 mythes scientifiques de McComas (1998)

Toutefois, nous devons bien distinguer la « *démarche scientifique* » valorisé par les programmes actuels d'enseignement français dont nous avons parlé dans le précédent chapitre de la « *méthode scientifique* » évoquée par Mc Comas. Comme Feyerabend, McComas se dresse contre une méthode universelle, il ne s'oppose pas à l'existence de méthodes contextuelles, ce qu'il sous-entend dans le point n° 4. L'expression « *méthode scientifique* » qu'il utilise renvoie également à l'idée d'une méthode qu'il suffirait de suivre « *mécaniquement* » (point n° 7). McComas pense à ce sujet que ce mythe s'appuierait sur la mise en œuvre de procédures strictes, de méthodes algorithmiques, où la créativité, l'inventivité et l'intuition n'auraient pas de place. Il affirme aussi que les élèves se représentent l'activité scientifique essentiellement comme une activité expérimentale. Précisons ici que la représentation des élèves renvoie à une expérience immédiate ou à une observation spontanée et non à un rapport entre les phénomènes et leur retranscription théorique. Ce n'est qu'un mythe bien éloigné de la réalité du travail du chercheur. En 1986, Nadeau parle alors d'« *expérimentalisme étroit* » ; les sciences ne peuvent pas être dissociées de l'expérience. En outre, parmi les lieux communs relevés dans les manuels d'enseignement par McComas, s'en trouvent d'autres, tels que : les sciences ne peuvent avancer que grâce à certains scientifiques éminents ; les sciences et la technologie ne font qu'une ; une délibération idéalisée entre scientifiques de laquelle toute passion et créativité sont bannies. À ce qui précède, McComas adjoint le mythe de la mathématisation comme critère de la qualité des pratiques et des théories ; le mythe selon lequel la recherche scientifique ne repose que sur les lois de la nature ; celui de la vision objective des scientifiques ; mais aussi le mythe d'une science exclusivement orientée vers le bien-être des hommes et celui de la pureté scientifique.

L'image de la nature des sciences véhiculée par les manuels scolaires semble loin de correspondre celle de l'épistémologie contemporaine. Cette image n'est que son reflet déformé et elle devient ce que Duschl (1990) appelle une image autoritaire de la *NoS* en ce sens que la connaissance scientifique est présentée comme une vérité absolue et comme une forme définitive. Ce scientisme comme le montre Duschl devient un véritable problème en matière d'enseignement des sciences. Selon lui, une réflexion sur les enjeux sociohistoriques serait d'ailleurs l'une des conditions pour éviter que l'enseignement des sciences ne tende à véhiculer une telle idéologie. Elle permettrait ainsi de se détourner de la seule référence au contenu scientifique, et de se recentrer sur la nature de l'activité scientifique et sur l'hypothèse d'un réalisme augmenté. Nous reprendrons cette piste de réflexion au chapitre 4.

Nous pouvons de même questionner les éléments historiques contenus dans les livres scolaires. D'ailleurs dès les années 1960, Kuhn (1972) justifie le choix de cet exemple en faisant du manuel une sorte de photographie de ce que la discipline pense d'elle-même. Or, la façon dont cette histoire des sciences est intégrée actuellement dans les manuels par leurs auteurs met clairement au jour l'aspect tout au plus secondaire qu'elle joue dans la constitution d'une telle image. Dans la plupart, une seule personne, souvent connue, est mentionnée en référence à un savoir établi. Le problème reste surtout l'héroïsation de quelques figures et la perte de la dimension de construction collective des sciences. Les découvertes apparaissent figées dans le temps, arrêtées à une date donnée et émanant d'une personne à l'intelligence incroyable. Elles proviennent alors d'une expérience déterminante ou d'une idée indiscutable, et sont donc bien éloignées des pratiques scientifiques transversales et multiples que nous connaissons.

Martins (2006) montre que certains récits historiques continuent toujours de nourrir une image de la *NoS*, fondée sur des conceptions empiriques inductives et véhiculent l'image de vérités irréfutables produites par des génies. Cette image erronée de la *NoS* semble très souvent le résultat de la mauvaise qualité des contenus historiques et philosophiques. L'histoire des sciences, sans contexte culturel, est déformée et simpliste, devenant une « *pseudohistoire* », dont la caractéristique principale est de

renforcer les stéréotypes de bon sens sur les sciences et sur la façon dont les scientifiques travaillent (Whitaker, 1979 ; Allchin, 2004).

Cette vision parcellaire de l'histoire des sciences amène paradoxalement celle-ci à devenir un frein dans l'acquisition d'une image plus authentique du travail scientifique. En effet, elle véhicule l'image du génial savant solitaire, par exemple celle de Newton, et elle conforte la vision d'une histoire centrée uniquement sur les idées. Si, d'un côté, l'introduction d'aspects historiques et philosophiques contribue à promouvoir les sciences, d'un autre côté, son absence et, surtout, son utilisation abusive génère une image erronée sur la nature des sciences.

En Belgique, ces résultats ont été confirmés par Mathy (1997), qui a montré que les manuels scolaires consacrent encore trop peu de place à l'histoire des sciences, malgré une certaine évolution. Même si la plupart des enseignants y portent un réel intérêt, ils ne lui accordent généralement pas une place centrale dans leur pratique quotidienne. Une raison importante invoquée par Höttecke et Silva (2011) est que la mise en œuvre d'un tel enseignement en classe de sciences n'est pas si aisée et pose encore de nombreux problèmes aux enseignants. En France, Maurines et Beaufile (2011) font le même constat auprès des enseignants français qu'ils ont interrogés. Sur l'image de la NoS renvoyée par les éléments historiques introduits dans les manuels d'enseignement, ils notent que le rôle des techniques ainsi que l'aspect socioculturel des sciences sont passés sous silence. Il en est de même de la diversité des enjeux du travail scientifique, ceux-ci pouvant être théoriques, pratiques, expérimentaux, techniques ou épistémologiques. Ce cadre scolaire laisse entendre que les découvertes sont uniformes et objectives, les présupposés sur lesquels est fondée l'activité scientifique et les valeurs qui orientent les pratiques n'étant pas évoqués.

En somme, l'enseignement des sciences souffre toujours d'une triple limitation, comme cela avait été indiqué par Lederman en 1992. La première est un manque d'une bonne compréhension des enseignants de la nature des sciences et leurs représentations qui sont très probablement dues à leur formation déficiente en histoire des sciences et plus largement en philosophie. La seconde est une absence de véritable expérience d'activité scientifique de recherche. La troisième est un

traitement généralement trop superficiel de la *NoS* dans les manuels scolaires, même si nous notons une évolution positive.

2.3.2 Les médias, comme la télévision, véhiculent également une image « naïve » des sciences

Les médias induisent ou renforcent implicitement certaines représentations par leur manière de décrire les scientifiques et leur travail. Les magazines de vulgarisation scientifique présentent régulièrement de très jolies couvertures, comme celles de *Science & Vie*, sur des événements absolument bouleversants, mais donnent trop souvent les sciences en spectacle.

La télévision, vecteur culturel par excellence, n'offre en général qu'une image partielle et parfois erronée des sciences et des scientifiques. Ainsi, le média le plus consommé en France cherche surtout à présenter les sciences d'une manière compréhensible et divertissante pour le grand public qui semble peu familier avec celles-ci. Pourtant par souci de lisibilité, les émissions de vulgarisation scientifique simplifient trop souvent les expériences scientifiques pour en exposer trop rapidement les résultats (cruciaux). Dans son ouvrage, le sociologue des sciences, Collins (1987), qui cherche à promouvoir une meilleure compréhension des sciences, s'est penché sur quelques émissions de la télévision britannique et il explique à ce propos :

« À la télévision, la science est présentée comme générant des certitudes auxquelles elle conduit directement. Ce qui est incertain ou ambigu est issu de l'incompétence des scientifiques, ou d'une insuffisance expérimentale. Les problèmes qui se posent toujours seront de toute façon résolus par de futurs tests. » (Collins 1987, p. 709)

Selon l'auteur, ce qui est exposé à la télévision n'est pas vraiment une expérimentation, mais une histoire racontée sans réelle construction socioculturelle, faite de certitude et qui est censée, absolument, tout expliquer. La télévision nous livre une reconstitution de l'activité scientifique, ce qui implique un certain nombre de choix dans la collecte des informations et dans la manière de la présenter. Cette

représentation, bien éloignée de la réalité des sciences, devient une évidence indiscutable.

Toutefois, certains chercheurs, comme Gingras (1999), tempèrent ces propos en indiquant que les journalistes sont souvent partagés entre une confiance aveugle et une méfiance absolue dans les sciences. L'idée que le savoir scientifique ne peut pas être discuté va donc de pair avec une vision plus temporaire de celui-ci. Il n'en reste pas moins que cette vision des sciences n'est pas partagée par la communauté scientifique, excepté par certains rares scientifiques ou relativistes.

Les travaux de Reis et Galvao en 2007 indiquent que certaines représentations des élèves correspondent à l'influence de clichés sur les scientifiques et de certains scénarii catastrophes évoqués de façon récurrente dans les films, les émissions de télévision ou les livres. En effet, les entretiens qu'ils ont conduits auprès d'élèves de 17 ans en sciences de la vie et de la Terre montrent trois types de représentations des scientifiques : la figure du héros se transformant en sauveur de la société ; celle du dangereux et impitoyable scientifique travaillant en secret sur des projets sensibles ; et celui incapable de contrôler ses expériences. D'ailleurs, nous pouvons évoquer toutes les expériences qui ont mal tourné dans les films au cinéma, par exemple, « *Frankenstein* » de James Whale en 1931, « *La mouche* » de David Cronenberg, en 1986 ou encore « *Jurassic Park* » de Steven Spielberg, 1993. À ce stade, ces études révèlent les limites des médias pour forger une représentation plus authentique de l'activité scientifique. Elles renforcent la nécessité pour l'enseignement d'ouvrir un débat critique sur l'image des sciences véhiculées par les médias.

En France, nous pouvons mentionner la diffusion de plusieurs programmes télévisés, comme « *E=M6 Junior* » ou « *C'est Pas Sorcier* » qui a été récompensé par le prix Descartes décerné en 2004 par l'Union européenne pour la communication scientifique. Il existe même une sitcom américaine : « *The big-bang Theory* » qui retrace la vie (fictive) de deux scientifiques. Cette série humoristique connaît un succès grandissant auprès des lycéens français. Les chaînes de télévision l'ont bien compris et profitent de l'engouement autour des personnages les plus marquants

comme Leonard, Sheldon et le professeur Proton. Selon le magazine Télé Loisirs¹⁸, plusieurs épisodes de la saison 4 diffusés sur NRJ 12 en 2015 ont rassemblé plus de 400 000 téléspectateurs français. La saison 6 diffusée aux États-Unis atteint les 20,3 millions de téléspectateurs. Citons également, les chaînes *YouTube* de vulgarisation scientifique, qui se sont considérablement multipliées ces dernières années, par exemple : « *e-penser* », « *DirtyBiology* », « *MicMaths* », « *Scilabus* », « *Les chroniques écologiques du professeur Feuillage* », ou « *Science étonnante* ». Ces vidéos interpellent un public plus jeune et captent l'attention de toujours plus d'élèves. Il semble intéressant de voir à quel point ces formats de vidéos rendent les sciences plus attrayantes et surtout plus visibles pour le grand public. La question reste à savoir exactement à quel point ces vidéos contribuent à augmenter le niveau de culture scientifique, étant donné qu'il s'agit d'un usage récent du public. Naturellement, cette valorisation de l'image du scientifique, beaucoup plus *geek*, n'est pas sans poser le problème de la vulgarisation à la télévision ou sur internet : s'agit-il de transmettre du savoir ou transmettre une certaine image des sciences ?

2.3.3 Les scientifiques sont eux aussi concernés

Encouragés par les politiques de diffusion de la culture scientifique, les scientifiques sont amenés à vulgariser leurs travaux et leurs applications afin de partager les avancées de tous les champs de la connaissance. Leur rôle est de présenter à la fois les progrès engendrés, mais aussi les risques éventuellement encourus selon les applications qui sont faites des découvertes des scientifiques, de manière à faire participer la population à cette réflexion. Les scientifiques ont donc un rôle à jouer auprès du public pour dissiper certaines des idées reçues en sciences et diffuser l'image de leur activité dans la société.

Pourtant leurs dires ne correspondent pas toujours à leurs pratiques. Bachelard l'explique dans l'avant-propos de *La philosophie du non*, où le philosophe oppose la philosophie diurne des savants (dans leur pratique) et leur philosophie nocturne (reprise d'une philosophie spontanée) :

¹⁸ Julia Dusserre-Telmon, *The big-bang Theory, bientôt la série la plus regardée depuis Friends* <http://www.programme-tv.net/news/series-tv/37287-the-big-bang-theory-serie-la-plus-regardee/>

« Nous demanderons donc aux savants : comment pensez-vous ? Quels sont vos tâtonnements, vos essais, vos erreurs ? Sous quelle impulsion changez-vous d'avis ? Pourquoi restez-vous si succincts quand vous parlez des conditions psychologiques d'une nouvelle recherche ? Donnez-nous surtout vos idées vagues, vos contradictions, vos idées fixes, vos convictions sans preuve. On fait de vous des réalistes. Est-il bien sûr que cette philosophie massive, sans articulations, sans dualité, sans hiérarchie, corresponde à la variété de vos pensées, à la liberté de vos hypothèses ? Dites-nous ce que vous pensez, non pas en sortant du laboratoire, mais aux heures où vous quittez la vie commune pour entrer dans la vie scientifique. Donnez-nous, non pas votre empirisme du soir, mais votre vigoureux rationalisme du matin, l'a priori de votre rêverie mathématique, la fougue de vos projets, vos intuitions inavouées. » (PUF, Rééd 1962, p. 13)

Nous retrouvons cette idée chez Feyerabend, Jacquard et surtout Lévy-Leblond. Ce dernier critique beaucoup une image des sciences faussées par les scientifiques eux-mêmes. Dans un texte écrit après l'affaire Sokal¹⁹, il objectait notamment que les scientifiques étaient les premiers à dire n'importe quoi sur les sciences. Selon lui, la place actuelle du scientifique pose problème. En effet, les scientifiques sont de plus en plus cantonnés à des tâches techniques et parcellaires de production du savoir dans des disciplines extrêmement spécialisées au détriment d'une réflexion sur la signification et les enjeux de l'activité scientifique. Le degré actuel de spécialisation, pas seulement disciplinaire, mais d'enfermement du chercheur dans cette seule tâche de défrichage à l'avant-garde du savoir, demeure dommageable pour le rapport des sciences à la société. De même, le chercheur Dominique Pestre considère que les sciences se vivent et se décident majoritairement « dans l'univers clos des laboratoires » (Pestre 2006, p. 94). En découle l'idée d'une science pure et enviable, qui serait écartée des éventualités de notre monde. Il ressort de ces propos que les scientifiques bénéficient d'une sorte d'aura et que la connaissance scientifique est

¹⁹ Dans le chapitre intitulé « la méprise et le mépris », tiré de son livre *La vitesse de l'ombre*. Lévy-Leblond cite en exemple Alan Sokal. Ce physicien critiquait les philosophes, du courant des *cultural studies*, qui s'exprimaient sur les sciences sans discernement.

érigée en mythe, alors même que la place de l'intuition et de la créativité fait l'objet de toutes les discussions entre chercheurs.

Dans leur ouvrage intitulé « *L'univers n'est pas sourd : pour un nouveau rapport sciences et foi* », Theobald, Saugier, Leroy, le Maire et Grésillon (2006) questionnent les sciences, les religions et leur rapport. Le livre comporte trois parties dont les deux premières sont de nature critique. La première s'intitule « *De l'univers et de la place qu'y occupe l'homme : des scientifiques s'interrogent* » et la seconde « *Le monde en question, des hommes s'interrogent sur le sens* ». La troisième partie qui a pour titre « *La proposition chrétienne de sens* » est une prise de position dont un des intérêts est que les cinq auteurs parlent à la fois des sciences, des scientifiques et de la question du sens. Leur analyse des discours de scientifiques tels que Newton, Einstein, Heisenberg et Lévi-Strauss, montre que, dans certains cas, ils ne relèvent plus de l'ordre du scientifique. Les auteurs s'intéressent également à Stephen Hawking, qui symbolise avec son handicap la figure mythique du scientifique délivré de son corps pour mieux comprendre le monde qui nous entoure. Le problème réside dans les prises de position de ces scientifiques, qui développent parfois un discours pouvant paraître scientifique mais dans lequel surgissent certaines idées qui ne le sont pas, par exemple, celle que les sciences démontrent (ou non) l'existence de Dieu.



En conclusion, il semble que les élèves et leurs enseignants, malgré certaines différences mineures, partagent des idées fortes et tenaces des sciences qui présentent peu de rapports avec les débats épistémologiques contemporains influencés par le socioconstructivisme. Les représentations des élèves, des étudiants et des enseignants correspondent surtout à une image empirique et inductive qui s'approche par certains aspects d'une représentation réaliste et positiviste des sciences. En outre, la plupart continuent de considérer que les sciences opèrent dans un vide social, si nous exceptons quelques influences externes comme le financement des recherches scientifiques, ou l'amélioration de nos conditions de vie (Aikenhead *et al.*, 1987). En définitive, les élèves, les étudiants et les enseignants ont communément une image assez rudimentaire de la manière dont le contexte économique et socioculturel joue un rôle déterminant dans le développement des sciences et de l'enseignement scientifique.

3. CARACTERISER LA NATURE DES SCIENCES A DES FINS D'ENSEIGNEMENT

« L'enseignement scientifique ne peut contribuer, comme il le prétend, à la formation de l'esprit critique que s'il favorise la critique dans la science même, et lui offre donc des cibles pertinentes. »
– Lévy-Leblond (1980, p. 58)

L'école a pour mission de transmettre des savoirs et d'aider les élèves à les acquérir, mais elle a aussi pour mission de former des citoyens. Tout futur citoyen a, plus que jamais, besoin de comprendre le rôle des sciences dans la société afin d'en tirer les informations qui l'aidera à prendre des décisions éclairées face aux problèmes sociaux et environnementaux auxquels il sera confronté dans sa vie. Pour y parvenir, les élèves et les enseignants ont besoin d'acquérir une véritable compréhension des démarches de construction du savoir scientifique. Cependant, trop souvent, l'enseignement renvoie une image des sciences (de la science)²⁰ éloignée de ce qu'elles sont, et ce d'autant plus qu'une approche transmissive est encore souvent en cours. À titre d'exemple, Lévy-Leblond n'a, de son propre aveu, découvert ce qu'étaient les sciences qu'au cours de son troisième cycle :

« Hélas ! La situation ne semble pas avoir encore beaucoup changé par rapport à l'époque où, achevant mes études universitaires de second cycle, j'entamais dans le troisième ma formation proprement professionnelle de physicien. Je me rappellerai toujours ma stupéfaction à constater le fossé qui séparait la physique telle qu'elle m'avait été enseignée jusque-là, et celle qui se pratiquait dans la recherche. À croire que, dans les amphithéâtres et les laboratoires, ce n'était pas de la même science qu'il s'agissait. » (Lévy-Leblond, 1996, p. 362)

De même, Osborne (2003) reconnaît que l'accent mis dans l'enseignement sur l'acquisition de nombreux résultats des sciences conduit inévitablement à inculquer

²⁰ Selon Soler (2009, p. 16 et 18), « Parler de la science au singulier, c'est se référer à l'idée générale de scientificité [...]. Mentionner les sciences au pluriel c'est sous-entendre l'existence d'une multitude de disciplines qui d'un côté diffèrent, de l'autre sont semblables en ce qu'elles sont des instanciations particulières de l'idée de science ».

aux élèves des connaissances en les rendant passifs, à leur renvoyer une image déformée des sciences telles qu'elles sont pratiquées, et à induire de nombreux élèves en erreur.

Or, d'après Lederman (1992), le développement d'une bonne compréhension de la *NoS*, ou la compréhension des sciences comme démarche de construction de connaissances, est largement souhaité depuis plusieurs décennies comme un des résultats de l'enseignement des sciences. C'est aussi ce que soulignent McComas, Clough et Almazroa (1998) qui remarquent que de nombreux enseignants s'accordent à dire que la compréhension de la *NoS* devraient être l'objectif central de l'enseignement des sciences.

Prendre comme enjeu d'enseignement l'image des sciences (de la science) soulève plusieurs questions comme en témoignent les différentes approches possibles de la *NoS* rencontrées dans la littérature. Nous verrons dans un premier temps une approche consensuelle qui met en avant des caractéristiques communes des sciences. Puis nous montrerons les limites de cette approche, particulièrement développée aux États-Unis et à l'origine d'un large courant international de recherches depuis une trentaine d'années, en prenant appui sur d'autres caractérisations apparues plus récemment dans la littérature anglo-saxonne. Enfin, nous expliciterons une approche de l'idée de science en relation avec notre projet à laquelle nous adhérons, en faisant appel au cadre élaboré par Maurines (2010) et le groupe DidaScO.

3.1 Les caractéristiques communes et consensuelles des sciences

Si nous considérons les différents courants de recherche qui étudient les sciences, il nous apparaît impossible de proposer une définition des sciences tant leurs approches sont plurielles. Il semblerait que les philosophes, historiens, sociologues des sciences, ainsi que les formateurs et enseignants de sciences, n'aient pas la même définition de la *NoS*. Cependant, ce désaccord n'est pas surprenant, étant donné la nature complexe et diverse de l'activité humaine que nous rattachons aux sciences. En outre, de façon analogue à la connaissance scientifique, les conceptions de la *NoS* sont provisoires, elles se transforment et peuvent être en tension, voire en conflit. Akerson, Abd-El-

Khalick et Lederman (2000) remarquent que ces conceptions ont largement évolué tout au long du développement des sciences et de son mode de pensée systématique sur la nature et son fonctionnement.

Néanmoins, nous observons à ce jour un dépassement des opinions divergentes entre les chercheurs qui prônent une position internaliste et rationaliste des sciences, et ceux qui défendent une position externaliste et relativiste. Chalmers (1987, 1991) observe à partir de son approche épistémologique que les sciences ne peuvent se limiter à une simple construction sociale. Elles engagent un rapport qui leur est propre avec l'expérience et qui leur permet d'atteindre une certaine forme d'objectivité.

Du côté des sciences de l'éducation, Lederman (2007) ajoute que si nous nous intéressons à la perception que chacun devrait avoir des sciences pour les comprendre et les apprécier dans notre société, il semble tout à fait envisageable de dégager des caractéristiques des sciences. Cette démarche revient d'une certaine façon à tenter de préciser les objectifs d'apprentissage que les élèves de la fin du niveau secondaire doivent avoir atteints. Au-delà du débat académique sur la définition des sciences et de leur nature, Osborne (2003) et Lederman (2007) soulignent que, s'agissant des implications sur le plan scolaire, les enseignants sont attachés à la compréhension nette des processus qui structurent leur discipline en amenant les élèves à réfléchir aussi bien sur leurs pratiques que les contenus des sciences enseignées.

3.1.1 Les sciences comme façon de connaître

Selon Lederman (1992), l'expression « *la nature des sciences* » renvoie aux sciences considérées comme une façon de connaître, aux valeurs et croyances inhérentes à la connaissance scientifique et à son développement. L'approche qu'il adopte et désigne par « *consensual vision* », consiste à caractériser la *NoS* à l'aide de propriétés communes aux différentes disciplines scientifiques, propriétés pour lesquelles il considère qu'un consensus existe au sein de la communauté des philosophes, historiens et sociologues des sciences. Ces propriétés, au nombre de sept, caractérisent le savoir scientifique et sont énoncées ainsi par Lederman : la

connaissance scientifique est provisoire (sujette au changement) ; fondée empiriquement (fondée et/ou dérivant des observations du monde naturel) ; et subjective (comporte des éléments liés à l'expérience personnelle, des biais, et/ou est chargée de théorie). Elle implique nécessairement l'inférence, l'imagination et la créativité humaine (nécessite l'invention d'explications). Elle est ancrée socialement et culturellement. Trois autres aspects importants sont mentionnés par Lederman : la distinction entre observation et interprétation, l'absence d'une recette universelle comme méthode pour faire des sciences, et les relations entre les théories et les lois scientifiques.

Ces sept caractéristiques de la *NoS* (les « *seven tenets* ») sont mises en avant dans les documents consacrés aux réformes de l'enseignement scientifique aux États-Unis (par exemple, l'AAAS, 1990, 1993 ; Millar et Osborne, 1998 ; NRC, 1996, cité dans Lederman, Abd-El-Khalick, Bell et Schwartz, 2002). Dans le tableau 2 qui présente comment Matthews les explicite à Yalaki et Cakmalci (2010) au cours d'un entretien, les savoirs scientifiques apparaissent indissociables d'aspects humains, culturels, sociaux et historiques.

1. La nature empirique de la science.	Malgré cette nature, les scientifiques n'ont pas un accès direct à la plupart des phénomènes naturels : <i>« les élèves devraient être en mesure de faire la distinction entre observation et déduction. [...] La compréhension cruciale de la distinction entre observation et déduction est un précurseur pour donner un sens à une multitude d'entités théoriques déductives et des termes qui peuplent les mondes scientifiques » ?</i>
2. Les théories et les lois scientifiques.	<i>« Les lois sont des énoncés descriptifs des relations entre les phénomènes observables. [...] Les théories, en revanche, sont déduites des explications des phénomènes observés ou des régularités dans ces phénomènes. [...] Les théories et les lois sont différentes sortes de connaissances et l'une ne</i>

	<i>devient pas l'autre ».</i>
3. La nature créative et imaginative de la connaissance scientifique.	<i>« La science est empirique. [...] Néanmoins, la production de connaissances scientifiques implique aussi l'imagination et la créativité humaine. La science [...] n'est pas une activité sans vie, entièrement rationnelle et ordonnée. [...] Les entités scientifiques, telles que les atomes et les espèces, sont des modèles théoriques fonctionnels plutôt que des copies de la réalité ».</i>
4. La nature chargée de théorie de la connaissance scientifique.	<i>« Les engagements scientifiques théoriques et disciplinaires, les croyances, les connaissances préalables, la formation, les expériences et les attentes influencent réellement leur travail. Tous ces facteurs contextuels forment une mentalité qui influence les problèmes que les scientifiques étudient et la manière dont ils mènent leurs enquêtes ».</i>
5. L'intégration sociale et culturelle de la connaissance scientifique.	<i>« La science comme entreprise humaine est pratiquée dans un contexte culturel plus large et ses praticiens sont le produit de cette culture. Il s'ensuit que la science influence et est influencée par les différents éléments et les sphères intellectuelles de la culture dans laquelle elle est incorporée ».</i>
6. Le mythe de la méthode scientifique.	<i>« il n'existe pas de méthode scientifique unique qui garantirait le développement de la connaissance infaillible [...] et pas de séquence d'activités [...] qui conduiraient infailliblement les scientifiques vers des solutions ou des réponses fonctionnelles ou valides »</i>
7. La nature provisoire des connaissances scientifiques.	<i>« La connaissance scientifique, bien que fiable et durable, n'est jamais absolue ou certaine. Cette connaissance, y compris les faits, les théories et les lois, est sujette à modification ».</i>

Tableau 2 : les 7 caractéristiques de Lederman *et al.* (2002)

Bien entendu, il ne s'agit pas de produire une liste fermée des caractéristiques de la *NoS* ni d'expliquer aux élèves ses termes en tant que tels. L'objectif est plutôt de proposer un cadre d'analyse pour l'enseignement en mettant l'accent sur les points communs aux différentes sciences et pour lesquels il y a un consensus. Il existe des critiques ou des correctifs à faire à cette proposition, mais nous retrouvons toujours des thèmes communs que soulignent avec insistance Smith et Scharmann (1999), Moss *et al.* (2001), Schwartz et Lederman (2002), Lederman *et al.* (2002) :

- la connaissance scientifique est provisoire, faillible et approximative ;
- la connaissance scientifique nécessite une observation reproductible pour être valide ;
- la science est subjective en raison de présupposés personnels et culturels et de son développement ;
- la science est subjective en raison de sa nature imprégnée de théorie.

La définition de Lederman exclut l'existence d'une vérité absolue concernant les faits empiriques. Il ajoute qu'en sciences, les savoirs s'appuient sur des observations et des expériences pour se constituer. Partagés par un groupe d'individus, ces savoirs constituent alors une vérité partagée et évolutive qui n'est pas objective au sens fort. Il ne faut pas perdre de vue comme nous l'avons déjà souligné avec Lederman (1992), Allchin (2011) ou Matthews (1994, 2012) que des facteurs sociaux, culturels et psychologiques influencent aussi ces savoirs.

Si les travaux initiaux du groupe de Lederman sont centrés sur les caractéristiques du savoir scientifique, les suivants s'intéressent aux modalités d'élaboration de ce savoir et à la dimension collective de cette élaboration. En 2008 Schwartz, Norman G. et Judith S. Lederman se sont focalisés sur l'investigation, ou l'« *inquiry* », selon l'expression anglo-saxonne. Afin d'évaluer les positions épistémologiques des élèves sur la nature de l'investigation scientifique, (*nature of scientific inquiry, NOSI*), les chercheurs ont réalisé un questionnaire *Views Of Scientific Inquiry (VOSI)* dont les principaux points abordés ont été les suivants :

- a) *Les questions qui guident les investigations ;*
 - b) *Plusieurs méthodes d'investigation scientifique ;*
 - c) *Les objectifs multiples des investigations scientifiques ;*
 - d) *La justification des connaissances scientifiques ;*
 - e) *La reconnaissance et le traitement de données anormales ;*
 - f) *Les sources, les rôles et les distinctions entre les données et les preuves ;*
 - g) *La communauté de pratique.*
- (Schwartz, R.S., Lederman, N.G., Lederman, J.S., 2008, p. 4)

3.1.2 Des caractéristiques trop limitées ?

Une telle synthèse des sciences et de ses pratiques peut sembler tronquée même si elle a l'avantage d'éviter une vision kaléidoscopique des sciences et ainsi de limiter la tentation du scepticisme et du relativisme.

« Les batailles d'experts, quelle que soit la difficulté réelle du problème en question, contribuent aussi à défaire la réputation d'une science que l'on pensait à peu près infaillible. Comment comprendre qu'en face des mêmes "faits scientifiques" les experts tirent des conclusions si différentes ? Sinon en imaginant qu'ils sont motivés par la défense d'intérêts particuliers plus que par la recherche de la vérité. Aux yeux de beaucoup aujourd'hui, la science se trompe, elle ne parle pas d'une seule voix, elle est tiraillée entre des intérêts particuliers et non menés par la recherche de la vérité. Dans un monde où la méfiance à l'égard de la politique tend à devenir la règle, la science soudain n'échappe plus au soupçon de partialité. » (Boy, 2000, p. 24)

Il nous apparaît donc essentiel de pousser plus avant notre analyse à ce sujet. S'il paraît possible de dégager un consensus sur certaines caractéristiques de la nature des sciences, la question de son explicitation pour l'enseignement secondaire reste posée.

À trop insister sur l'aspect subjectif²¹, provisoire et social, le risque est grand, en effet, que les élèves ne prennent les sciences que pour « *un conte de fées* » selon l'expression de Chaberlot (2012) ou « *un mythe comme un autre* » selon celle de Feyerabend. À cet âge tout particulièrement, ils sont prompts à verser d'un excès à l'autre. D'ailleurs, pour cette raison, nous leur transmettons peut-être une image caricaturale des sciences et nous entretenons par défaut cette tendance. Est-il possible de les habituer à avoir une vision plus riche des sciences, à être plus nuancés ? Nous en venons à nous dire que, les sciences étant par définition opposées à l'enseignement (chercher de l'inconnu *vs* apprendre du connu), les deux sont peut-être inconciliables. Le mieux que nous pouvons faire est de réduire l'écart en rendant progressivement l'élève moins passif et par conséquent plus actif.

3.1.3 Features of science

L'approche de Lederman à l'origine depuis bientôt trente ans d'un vaste courant de recherches est discutée par plusieurs chercheurs. Matthews (2012) souligne que la « *consensual vision* » passe sous silence plusieurs aspects importants des sciences. Il développe une approche par « *Features of science* » qui consiste à enrichir la liste des « *seven tenets* ». Le tableau 3 met en valeur huit des aspects complémentaires qu'il retient. Ceux-ci portent aussi bien sur la nature des savoirs scientifiques et leur rapport à la réalité et à d'autres domaines de connaissance, que sur leurs modes d'élaboration.

8 Démarcation	<i>Y a-t-il des critères de démarcation permettant de distinguer la science de la non-science ?</i>
9. Méthodologie	<i>Quelle est la méthodologie de la science ?</i>
10. Explication	<i>Quelles sont les caractéristiques d'explication scientifique adéquates ?</i>
11. Choix de la théorie	<i>Y a-t-il motifs raisonnables pour le choix entre des théories concurrentes en sciences ou celui-ci est-il irrationnel ?</i>

²¹ Nous reprenons le terme introduit par Lederman pour désigner tout à la fois l'ancrage théorique que des aspects liés à la subjectivité humaine (partialité, biais).

12. Réalisme	<i>Réalisme ou instrumentalisme ? De quelle manière les théories scientifiques sont-elles interprétées ?</i>
13. Idéalisation	<i>Quels sont le rôle, la fonction et le statut d'idéalisation dans la théorisation scientifique ?</i>
14. Mathématisation	<i>Est-ce que la mesure et les mathématiques sont essentielles à la science ?</i>
15. Valeurs	<i>Quel est le rôle légitime des valeurs sociales extérieures à la sélection des programmes de recherche scientifique ?</i>

Tableau 3 : les 8 caractéristiques supplémentaires de Matthews (2012)

Nous estimons que Matthews met en évidence un critère qui nous apparaît fondamental en physique-chimie et qui correspond à la mathématisation des sciences. « *Est-ce que la mesure et les mathématiques sont essentielles à la science ? Beaucoup soutiennent que la mathématisation de la philosophie naturelle était la marque de la science moderne.* » Et Matthews (2012) cite la célèbre phrase de Galilée :

« La philosophie est écrite dans ce vaste livre qui constamment se tient ouvert devant nos yeux (je veux dire l'Univers), et l'on ne peut le comprendre si d'abord on n'apprend pas à connaître la langue et les caractères dans lesquels il est écrit. Or, il est écrit en langue mathématique, et ses caractères sont les triangles, les cercles et autres figures géométriques, sans lesquelles il est humainement impossible d'en comprendre un seul mot, sans lesquelles on erre vraiment dans un labyrinthe obscur. »²²

Cela permet à Matthews d'illustrer sa conclusion : « *Compte tenu de la présence dominante des mathématiques dans toutes les branches de la science moderne, une question claire pour les enseignants et les élèves est exactement ce que le rôle des mathématiques joue dans la compréhension scientifique.* » Ce point semble d'autant plus fondamental qu'il est présent dès l'origine de la construction du concept des sciences (Platon vs Aristote). Il constitue proprement le critère du passage vers les sciences modernes (Galilée — idée d'une mathématisation de la nature/Descartes —

²² Galilée, *L'Essayeur*, trad. C. Chauviré, Les Belles Lettres, 1980, t. I, p. 232.

vecteur...). De surcroît, la mathématisation est prépondérante notamment en physique quantique. Avec le développement de la quantique, Bachelard écrit :

« On n'estime pas à sa juste valeur le rôle des mathématiques dans la pensée scientifique. On a répété sans fin que les mathématiques étaient un langage, un simple moyen d'expression. On s'est habitué à les considérer comme des outils à la disposition d'une raison consciente d'elle-même, maîtresse d'idées pures douées d'une clarté anté-mathématique. Une telle segmentation pouvait avoir un sens à l'origine de l'esprit scientifique, quand les images premières de l'intuition avaient une force suggestive et aidaient les théories à se constituer. » (Bachelard, 1934, rééd. 1987, p. 57).

À travers cette citation, Bachelard affirme que les mathématiques ne sont pas qu'un langage, un moyen de communication, mais qu'elles sont constitutives même de la science. Il semble donc difficile de ne pas les prendre en compte.

3.2 Les sciences comme ensemble de disciplines

3.2.1 Family Resemblance Approach

Les travaux de Lederman et de son groupe fondés sur la « *consensual vision* » ont également été accueillis avec intérêt et prudence par Irzik et Nola (2011). Ceux-ci ont exprimé leur inquiétude sur le risque d'un modèle trop restrictif. Tout d'abord, ce modèle donne une image trop étroite de la science. Par exemple, il n'est pas fait mention des objectifs des sciences ni des règles méthodologiques. Deuxièmement, la « *vision consensuelle* » dépeint une image trop monolithique des sciences et semble aveugle aux différences entre les disciplines scientifiques, sans même aller jusqu'à aborder l'épineuse question des sciences humaines. Par exemple, l'astronomie et la cosmologie sont très différentes de la chimie. Dans le même ordre d'idée, avec ce point de vue consensuel, la *NoS* apparaît comme fixe et intemporelle, même si elle intègre dans sa définition l'idée d'une évolution historique comme le souligne le

point n° 7. Quand bien même, seule l'histoire des sciences met directement en valeur la lente évolution de sa nature.

Dans ce contexte, Irzik et Nola défendent une « *Family Resemblance Approach* » afin de rendre compte de spécificités et similitudes disciplinaires. Cette notion de « *ressemblance de famille* » a pour origine le philosophe autrichien Wittgenstein (1958). Nominaliste, il s'oppose aux réalistes qui prétendent délivrer l'essence d'une chose. Pour Wittgenstein, comme pour tous les nominalistes, il n'existe aucune essence commune entre deux choses, mais une ressemblance de famille. Il évoque brièvement les sciences dans ses « *Investigations philosophiques* », mais aussi l'art, et quasiment tous les éléments évoqués par Irzik et Nola pour caractériser les sciences.

L'approche initiale d'Irzik et Nola (2011) est de caractériser les différentes pratiques scientifiques parmi une communauté (qui n'est pas précisée) grâce à quatre dimensions : activités ; buts et valeurs ; méthodes et règles méthodologiques ; produits.

3.2.2 L'évolution de cette liste

Cette liste a toutefois récemment évolué, puisqu'en 2014, les auteurs ont rassemblé ces quatre critères au cœur d'un noyau cognitif épistémique, entouré de quatre autres dimensions qui ont pour objectif d'assurer la dimension socio-institutionnelle des pratiques scientifiques.

1. professions ;
2. certification sociale et dissémination du savoir ;
3. éthos scientifique ;
4. valeurs sociales.

En outre, Erduran et Dagher (2014) ont contribué à enrichir cette liste en ajoutant trois autres dimensions :

5. organisations sociales et interactions ;
6. structures politiques ;

7. systèmes financiers.

Ces auteures se fondent sur une « *Family Resemblance Approach* » qu'elles-mêmes désignent d'holistique pour montrer les interactions entre ces différentes dimensions.

3.3 Les sciences comme activité discursive

Prises dans leur ensemble, les recherches précédentes mettent l'accent sur le processus de construction des savoirs et présentent les savoirs comme le résultat d'une construction humaine collective. Autrement dit, ces savoirs ne résultent pas uniquement d'une interprétation directe du réel et de procédés démonstratifs logiques. Il semble donc nécessaire, à présent, de s'intéresser aux sciences vues comme une pratique sociale dont une des caractéristiques du discours reste l'argumentation.

3.3.1 L'argumentation comme activité pratique

Les fondements philosophiques et cognitifs de l'argumentation ont joué un rôle central dans la justification de la recherche sur l'argumentation dans les sciences de l'éducation. Par exemple, dès 1990, Duschl se positionne en faveur d'une pratique de l'argumentation en classe. Il considère, comme Martinand (1986) en France, que les savoirs et les activités sont liés. Il s'agit de créer un lien entre des savoirs, qui tendent a priori à devenir universels, et l'activité intellectuelle individuelle ou collective.

Pour Driver, Newton et Osborne (2000), les connaissances sur la *NoS* sont essentielles pour améliorer la compréhension des sciences et la *scientific literacy*. Examinant la finalité et l'intérêt du dialogue argumentatif dans la construction sociale de la connaissance scientifique et de l'interprétation des données empiriques, ils considèrent comme Duschl que l'argumentation est une activité de base des scientifiques. Selon eux, toute éducation aux sciences doit donner un rôle prioritaire à l'argumentation afin de transmettre une image fidèle de la pratique sociale de la science, de favoriser l'acquisition de connaissances scientifiques et de développer la compréhension des critères d'évaluation utilisés pour établir des théories scientifiques. Driver *et al.* (2000) montrent que l'enseignement peut donner l'occasion d'aider les élèves à construire et affiner leurs arguments en classe.

Cependant, ils relèvent aussi deux obstacles de taille, le peu de pratique de l'argumentation en classe, et le manque de compétences pédagogiques des enseignants dans l'organisation de discours argumentatif en classe.

Selon Duschl et Osborne (2002), la question de l'argumentation est à examiner selon deux angles, à savoir ce qui devrait la constituer et ce que propose la recherche sur les conditions en classe qui favorisent les pratiques d'argumentation entre les élèves. Les auteurs relèvent des obstacles analogues à Driver *et al.*

3.3.2 Le cadre des ressources argumentatives

Deng, Chen, Tsai et Chai (2011) ont analysé une centaine d'articles anglo-saxons, parus en langue anglaise de 1991 à 2010, sur la vision que peuvent avoir les étudiants de la *NoS*. Ils notent que les objectifs relatifs à la compréhension de la *NoS* ont été élargis. Au-delà d'une liste indicative de sept principes fondamentaux, il s'agit désormais d'inclure « *une série d'activités épistémiques et sociales, tel que discuter en groupe des modèles, donner des arguments pour/contre ces modèles, et l'écriture sur les modèles* » (Deng *et al.*, 2011, p. 963). En conséquence, les élèves doivent démontrer leur capacité à utiliser les bonnes informations pour défendre d'une manière appropriée des affirmations concernant des connaissances scientifiques. Ils doivent se montrer capables d'utiliser certaines données comme éléments de preuve au moment de critiquer cette connaissance. Les travaux conduits selon cette perspective relèvent du « *cadre des ressources argumentatives* » selon l'expression introduite par Deng *et al.*

3.3.3 La notion de « *reliability* »

Les travaux d'Allchin (2011) s'inscrivent dans ce cadre des ressources argumentatives. Son approche vise une compréhension plus large de la *NoS* « *unified by a theme of reliability* », ce qu'il a appelé la « *Whole Science* ». Il propose de mesurer les connaissances des élèves concernant la *NoS* par leur capacité à juger de la fiabilité des argumentations, et par la façon dont différentes dimensions de la *NoS* participent à l'interprétation des données. Cette approche lui permet de passer d'une

liste normative de quelques caractéristiques accordant à l'expérience un rôle primordial à une liste non exhaustive de dimensions articulées autour de la notion de « *reliability* » et prenant en compte l'aspect social de l'activité scientifique. Parmi les dimensions de la *NoS* en lien avec la notion de fiabilité des sciences, il met en avant : des observations et des raisonnements ; des méthodes de recherche ; de l'histoire et de la créativité ; le contexte humain ; la culture ; les interactions sociales entre les scientifiques ; les processus cognitifs ; des sciences économiques ; de l'instrumentation ; et de la communication et de la transmission des connaissances. Ces dimensions ne peuvent avoir de sens que lorsque les élèves éprouvent et réfléchissent sur la « *science in the making* » (Conant, 1947, p. 13) par opposition à la « *science ready-made* » (Latour, 1981, rééd. 1987, p. 4).

3.4 Le point sur la recherche en France

Ce vaste cadre de recherche s'inspire principalement de la référence anglo-saxonne, mais qu'en est-il en France ?

Même si la question de la *NoS* semble ne pas être au centre des préoccupations des chercheurs de l'Hexagone, il reste à souligner l'existence d'une tradition qui ne se contente pas de ramener l'épistémologie à une simple discipline historique, mais qui la confronte aussi avec les principes de son développement. Dès le début, elle travaille la constitution de l'image des sciences en s'intéressant à son acquisition. Ainsi, Bachelard était directement au contact des élèves pour comprendre la genèse de l'idée, mais aussi, et surtout, les mirages qu'elle génère. La découverte de la notion d'obstacle épistémologique, qui reste centrale dans l'œuvre du philosophe, va tout à fait dans ce sens et nous rappelle à quel point il semble essentiel de poser la question de la *NoS* d'un point de vue pédagogique pour finir par mieux la cerner : « *Pour un esprit scientifique [...] Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit* ». Bachelard (1938, p. 14-19).

Alors qu'aux États-Unis les recherches dans le domaine de la *NoS* se multiplient, en France il en existe encore peu. La question de la *NoS*, autrement dit la dimension épistémologique de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences, a été et, est

encore souvent non centrale dans les recherches. Elle peut les sous-tendre sans en être nécessairement au cœur car restant une visée d'apprentissage implicite. Elle peut également être uniquement un des axes d'analyse. Les premiers travaux qui peuvent être considérés comme sous-tendus par le domaine de la *NoS* portent sur des thématiques telles que les démarches, notamment expérimentale (Johsua, 1989), la modélisation (Martinand, 1986 ; Tiberghien, 1994). A la fin des années 90 apparaissent les premières études portant sur l'image des sciences des élèves et étudiants (Séré et al, 2001). A la même époque sont publiés des travaux sur les représentations des enseignants (Roletto, 1998), plus récemment, sur celles véhiculées par leurs pratiques (Pélicissier et Venturini, 2012). Certaines des recherches sur l'argumentation, particulièrement nombreuses en sciences de la vie et de la Terre mais également développées en physique-chimie (Buty et Plantin, 2008) s'intéressent aux arguments de nature épistémologique évoqués par les élèves (Simonneaux et Albe, 2008 ; Rached, 2018). Certaines recherches s'intéressent aux enseignants et ne font pas de propositions innovantes d'enseignement, d'autres s'intéressent aux curriculums et font des propositions d'enseignement (mobilisant l'histoire des sciences par exemple, ou aussi la modélisation).

Depuis bientôt vingt ans, Maurines et le groupe de didacticiens des sciences DidaScO (Didactique des Sciences d'Orsay) ont centré leurs travaux sur la *NoS* et visent à l'explorer dans toutes ses dimensions (philosophiques, historiques, sociologiques, psychologiques, etc.) et sous tous ses aspects (programmes, séquences, représentations, etc.). Nous allons d'abord rappeler quelques résultats sur les premiers travaux en lien avec notre projet réalisés en France avant de détailler le cadre proposé par DidaScO dans lequel nous inscrivons nos travaux.

3.4.1 Les premiers travaux

3.4.1.1 Les démarches scientifiques et l'observation

L'étude du rapport entre épistémologie et didactique est une préoccupation qu'ont partagée les didacticiens Astolfi et Develay dès 1989. L'utilisation de l'histoire des sciences tant ancienne que plus récente demeure l'une des pistes qu'ils défendent aussi bien dans l'enseignement qu'en recherche. Leur analyse les conduit à dégager

douze points permettant de spécifier un enseignement des sciences basé sur la recherche en didactique et l'épistémologie contemporaine. La manière de transmettre les connaissances scientifiques doit alors être repensée de plusieurs façons, notamment en ce qui concerne le rapport théorie-observation et la nature de l'observation.

Ils soulignent que la démarche expérimentale dans l'enseignement des sciences tend à vouloir stéréotyper le schéma OHERIC (Observation, Hypothèse, Expérience, Résultats, Interprétation, Conclusion). Avec d'autres didacticiens, dont Giordan, ils s'y opposent, car OHERIC établit au mieux la reconstitution *a posteriori* d'une découverte scientifique. Toutefois, très souvent dans son activité, le scientifique part sur une piste sans trop savoir exactement pourquoi et comment, et son objectif par la suite est de prendre du recul par rapport à ce qu'il a fait, autrement dit de rendre raison de son travail.

Ce schéma OHERIC est résistant, car selon Orange (1997), l'enseignement semble inévitablement linéaire pour le sens commun. Les enseignants recherchent donc au départ une démarche pour gagner du temps en mettant d'abord les élèves devant un cas à observer qui va stimuler une recherche. Mais l'observation en elle-même (c'est-à-dire indépendante de l'observateur) n'existe pas. Les enseignants et leurs élèves ne font pas la même observation, tout simplement parce qu'ils observent en mobilisant un certain nombre de connaissances, de présupposés ou de non-dits différents, sans oublier l'existence de différences physiologiques. D'où la nécessité pour les enseignants de prendre conscience des représentations de leurs élèves. Cet espace là fait toute la différence et toutes les possibilités de la recherche en didactique.

Finalement, le concept de fait (au sens commun d'indépendant de l'observateur, du scientifique) est remis en question, car ils ne trouvent leur essence qu'à travers des concepts, des théories ou des modèles existants. Ils sont analysés de façon différente selon des facteurs sociaux et temporels et revêtent donc une importance variée. Pour qu'un fait soit interprété, il ne suffit pas de l'observer : il faut l'intervention d'une théorie. Selon l'exemple célèbre de Hanson (1958, trad. fr. 2001, p. 6-16), quand Brahé et Kepler regardent le soleil à l'Est, ils ne voient pas la même chose : le premier voit le soleil se lever, alors que le second voit l'horizon se déplacer par

rapport au soleil fixe. Nous retrouvons ici la fameuse imprégnation théorique que nous avons mise en valeur plus haut. Les faits en tant que tels ne sont plus indépendants de la théorie. Comme l'écrit le paléontologue américain Gould (1991), nous pouvons seulement dire que, quand les théories sont bien établies, il semble difficile de les remettre en question : « *la Terre est ronde* » paraît moins théorique que « *l'univers est courbe* ». Selon Gould : « *En science, "fait" ne peut signifier que "confirmé à un degré tel qu'il serait pervers de refuser d'y souscrire provisoirement"* » (Gould, 1991, p. 299.).

Nous retrouvons cette mise en perspective des démarches pédagogiques et des démarches scientifiques dans des études plus récentes qui abordent l'importance des mises en pratique dans l'acquisition des connaissances scientifiques par les élèves. Dans le cadre de la mise en œuvre des derniers programmes de physique-chimie au collège, Pélissier et Venturini (2012) proposent une analyse didactique d'une situation d'enseignement fondée sur une démarche d'investigation. Ils étudient comment se forment les connaissances, que ce soit par le biais d'expériences, de discussions, d'hypothèses ou encore de critiques. Leur questionnement s'appuie aussi sur ce qui définit la science.

« Il s'agirait donc d'utiliser la DI comme une approche pédagogique qui permettrait aux élèves, en les mettant en situation de pratiquer la science, de mieux comprendre les concepts, les méthodes et les savoir-faire scientifiques » (2012, p. 132)

Ils expliquent que les observations sont faites à partir des savoirs théoriques connus, que la pratique scientifique est conditionnée par ces derniers, ou encore que les théories, les règles et les expériences scientifiques sont interdépendantes. Les connaissances sur la *NoS* transmises aux élèves le sont donc de façon tacite à partir du savoir professoral, mais aussi de leurs propres représentations scientifiques. Afin de savoir si une démarche de recherche et d'expérimentation concourt à la transmission des connaissances épistémologiques, Pélissier et Venturini s'intéressent également au rôle des enseignants dans cette transmission et à la façon dont ils orientent les pratiques. Ils encouragent ainsi les enseignants à suivre une formation épistémologique.

3.4.1.2 Les modèles et la modélisation

Les modèles et la modélisation sont des objets de recherche en didactique, largement explorés²³. Au tout début de ces travaux, il s'agissait, dans une certaine mesure, de faire faire des activités de modélisation aux élèves (Martinand, 1992 ; Tiberghien, 1994 ; Orange, 1997). La visée d'apprentissage épistémologique était implicite. Les recherches s'orientent depuis une vingtaine d'année vers une visée épistémologique explicite.

Nous n'entrerons pas ici dans les débats auxquels a donné lieu le concept polysémique de modèle. Nous préciserons uniquement que, dans les travaux en didactique, le modèle est présenté comme un « *outil de connaissances locales* » pour reprendre les termes de Robardet et Guillaud (1997, p. 97). Il s'agit « *d'un outil rationnel construit au moyen d'un langage en vue de permettre l'étude d'une réalité empirique locale parfaitement circonscrite à un ensemble de phénomènes déterminé* ». La modélisation, c'est-à-dire l'activité de construction d'un modèle, donne lieu à de nombreux allers et retours entre le champ théorique et le champ empirique. La mise en regard et en relation de ces deux champs, théorique et empirique, est soulignée par les didacticiens à l'aide d'un schéma, dit de la modélisation, sur lequel chaque champ est représenté par une « *bulle* ». Nous donnons à titre d'exemple le schéma proposé par Martinand (1995) :

²³ C'est également le cas à l'étranger, notamment dans la littérature anglo-saxonne.

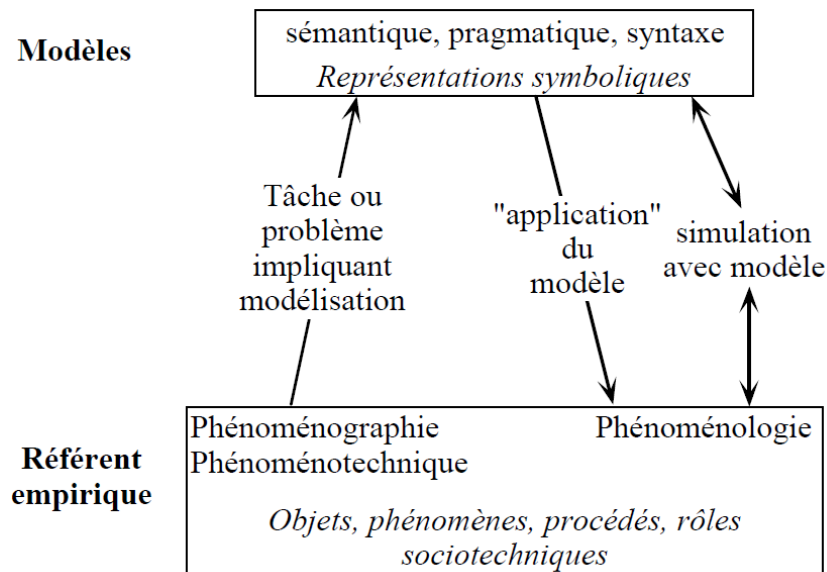


Figure 1 : registre de modèles et registre du référent empirique (Martinand, 1995, p.7)

Les premiers travaux sur les représentations du statut des savoirs scientifiques et de leur mode d'élaboration portent sur les enseignants. Ceux de Roletto (1998), qui concernent de futurs professeurs d'école et de collègue et lycée en physique-chimie, montrent que « *la majorité des sujets sont porteurs de points de vue qui renvoient à une épistémologie [...] réaliste naïve (les objets de la science existent dans le monde où ils sont découverts par les scientifiques)* » (Roletto, 1998, p.26). D'autres plus récents de Monod-Ansaldi et Prieur (2011) révèlent l'existence de différences disciplinaires :

« *les enseignants de sciences expérimentales (SVT et PC) sont plus nombreux que les enseignants de mathématiques à considérer les savoirs comme des constructions humaines argumentées, même si cette position s'articule difficilement avec l'empirisme réaliste également confirmé par nos résultats* » (Monod-Ansaldi et Prieur, 2011, p.29).

Pélessier et Venturini ont étudié plus récemment (2016) la caractérisation de pratiques d'enseignement de physique en classe de seconde en examinant la place et la nature du modèle. Leurs résultats montrent à la fois la difficulté et l'importance pour les enseignants de faire réfléchir les élèves sur la modélisation. D'autres travaux

s'intéressant aux élèves indiquent que leur point de vue semble généralement assez proche de celui des enseignants (Coince et al, 2008).

3.4.2 Les travaux de DidaScO

3.4.2.1 *L'histoire des sciences dans l'enseignement des sciences*

Maurines et Beaufils (2011) partagent la position anglo-saxonne des partisans de la *NoS*. Considérant l'activité scientifique comme à la fois dépendante d'un contexte socioculturel et temporel particulier, et répondant à des démonstrations et des normes collectives, ils estiment que l'enseignement de la *NoS* aux élèves est un enjeu éducatif majeur, qui permet notamment des choix citoyens éclairés. Il ne s'agit pas pour eux d'opposer une représentation des sciences internaliste à une représentation externaliste. Au contraire, ils cherchent à définir les contours d'une éducation scientifique dont un des objectifs serait de mieux faire comprendre le projet scientifique pour intéresser et toucher davantage les élèves.

Cette façon d'envisager la transmission des sciences à l'école les conduits à chercher à dégager des caractéristiques des sciences qui peuvent être travaillées en classe pour chaque classe d'âge afin de renvoyer une image des sciences plus authentique aux élèves. Quelques-unes des caractéristiques de l'activité scientifique mises en avant par Maurines et Beaufils dans leur étude sur l'introduction de l'histoire des sciences en classe (2011, p. 281) sont les suivantes :

-
- **L'activité scientifique est source de débats.**
 - **Les connaissances scientifiques s'acquièrent en observant et en expérimentant, tout en cherchant à rester simples et cohérentes.**
 - **Le travail d'un scientifique est communautaire pour confronter ses savoirs aux théories déjà élaborées.**
 - **Les problématiques techniques et l'évolution idéologique sont intimement liées.**
 - **Les sciences évoluent au fil du temps, que ce soit par le maintien ou la**
-

dissolution des savoirs.

- Certains concepts se sont avérés problématiques en fonction des périodes.
- Les sciences et les sociétés sont intrinsèquement liées.
- Les sciences et les croyances interagissent.

Tableau 4 : Les caractéristiques de l'activité scientifique de Maurines et Beaufiles (2011, p. 281)

Cette liste, non fermée comme celle de Matthews, n'est pas hiérarchisée. L'idée est de définir des caractéristiques de l'activité scientifique auxquelles correspondent des objectifs précis d'apprentissage de nature épistémologique susceptibles de conduire à des activités pour les élèves. Ces principes didactiques et les objectifs éducatifs qui en découlent viennent accompagner le strict apprentissage des connaissances scientifiques.

3.4.2.2 Les sciences comme communauté de pratiques

À ce jour, cette démarche a évolué vers une approche intégrée grâce au concept de pratiques sociales de référence introduit par Martinand (1986, p. 137). Ce dernier les définit comme des « [...] activités objectives de transformation d'un donné naturel ou humain » (« pratique ») qui « concernent l'ensemble d'un secteur social, et non des rôles individuels » (« sociale ») et dont « la relation avec les activités didactiques n'est pas d'identité » mais relève d'une relation de comparaison dont elle constitue la référence.

Afin d'éviter de réduire la richesse des pratiques et de permettre l'exploration de leur complexité et de leurs logiques propres, les pratiques sociales sont associées à des caractérisations multidimensionnelles. C'est ainsi que Maurines, Gallezot, Ramage, et Beaufiles (2013) ont établi un cadre d'analyse *a priori* fondé sur neuf dimensions (première colonne du tableau 5) : visées et caractéristiques générales de la science ; objets d'étude ; ressources ; produits ; élaboration en sciences ; attitudes ; communauté ; société et temps.

La mobilisation de cette grille *a priori* leur a permis de dégager des sous-dimensions et catégories (deuxième et troisième colonne du tableau 5) correspondant aux aspects de la *NoS* pris en charge ou non dans les programmes de sciences et de la vie et de la

Terre et de physique-chimie en classe de seconde (deux dernières colonnes du tableau 5).

Dimensions de la NoS a priori	Sous-dimensions a postériori	Catégories a postériori	PC	SVT
Visées et caractéristiques générales de la science	Visées	Types de visées		
		Visée descriptive	x	
		Visée explicative	x	x
		Visée prédictive	x	
		Visée « d'action »	x	
	Caractéristiques générales de la science	La science recherche l'universalité	x	
		La science recherche la cohérence du produit, du champ	x	x
		La science s'inscrit dans une évolution positive	x	x
		La science possède des dimensions esthétique et cognitive	x	
		La science comme pratique spécifique (spécificité, parenté des disciplines) (démarcation)	x	x
Objets d'étude	Types d'objets	Objets matériels naturels ou artificiels Général/particulier	x	x
		Phénomènes	x	x
		Lois, modèles, théorie, concepts	x	x
	Angle d'étude de l'objet	Approche descriptive	x	x
		Approche fonctionnaliste	x	x
		Approche historique		x
Ressources	Ressources intellectuelles	De la discipline (connaissances, savoirs, modèles lois)	x	
		D'autres disciplines	x	x
		Générales (logique)	x	x
	Ressources matérielles	Instruments, outils, technologies	x	x
Produits	Produits intellectuels	Connaissance, savoir,	x	x
		Méthode/démarche	x	x
		Questionnement	x	
Élaboration en sciences	Modalités générales de l'élaboration	Elle s'inscrit dans le cadre d'une démarche Points clés/étape	x	x
		Elle s'inscrit dans une perspective constructiviste	x	x
		Dans différents espaces		x
	Types d'activités mises en œuvre	Activités pratiques	x	x
		Activités intellectuelles logiques	x	x
		Activités intellectuelles créatives	x	
	Règles et valeurs associées	Règles d'élaboration de l'argumentation		x
		Règles de sécurité		x
		Règles de validité		x
		Choix d'un langage approprié		x
Attitudes	Composante cognitive	Capacité critique/Rigueur/Autonomie et organisation/Humilité	x	x
	Composantes affective et conative	Intérêt/Passion/Dynamisme/Écoute/Patience/Ouverture d'esprit	x	x

Dimensions de la NoS <i>a priori</i>	Sous-dimensions <i>a posteriori</i>	Catégories <i>a posteriori</i>	PC	SVT
Communauté	Caractéristiques de ses membres	Diversité des compétences et des métiers	x	x
		Genre : diversité	x	
		Ancrage culturel, temporel et spatial	x	
	Construction collective du savoir	Dimension collective de l'élaboration	x	x
		Dimension collective de la validation	x	x
	Relations au sein de la communauté scientifique		x	x
Société	Rôles des sciences dans la société	Pour contribuer à la formation de l'individu – formation personnelle	x	x
		– formation professionnelle	x	x
		Pour contribuer à la formation du citoyen	x	x
		Pour contribuer à la compréhension des débats de société et au traitement de grands enjeux	x	x
		Pour contribuer à la définition des normes	x	
	Relations entre sciences et société	La science « imprègne » la société. Domaines où la science est présente	x	x
		La science en interaction avec les autres pratiques sociales	x	x
		Société imprègne la science	x	
Temps	Savoirs scientifiques sont provisoires		x	x
	Scientifiques ont un ancrage temporel		x	x
	Modalités d'élaboration des savoirs au cours du temps		x	x
	Type d'histoire		x	x

Tableau 5 : grille d'analyse thématique élaborée a posteriori présentant pour chaque dimension une proposition de classification des unités d'analyse en sous-dimensions et catégories (2013)

La partie *a posteriori* de la grille s'est ensuite enrichie de nouvelles sous dimensions et catégories avec l'analyse des programmes des filières générales S, ES et L. La dimension « *élaboration* » est, par exemple, divisée en trois catégories : « *types d'activités* », « *modalités générales* » et « *règles et valeurs associées* ». Comme l'indique le tableau ci-dessous, plusieurs éléments ne sont pas présents dans le programme de seconde, mais apparaissent dans les autres programmes.

Dimensions de la NoS (<i>a priori</i>)	Sous-dimensions (<i>a posteriori</i>)	Catégories (<i>a posteriori</i>)	SVT	PC	SCT-PC	PC	PC
			2 ^{de} à TS	2 ^{de}	1 ^{re} ES-L	1 ^{res}	TS
Visées et caractéristiques générales de la science	Caractéristiques générales de la science	La science recherche l'universalité/réel/société		x		x	x
		Cette universalité repose sur la formalisation, les mathématiques				x	x
		La science recherche la cohérence du produit, du champ	x	x	x	x	x
		La science s'inscrit dans une évolution positive	x	x	x	x	x
		La science possède des dimensions esthétique et cognitive		x		x	x
		La science comme pratique spécifique : parenté des disciplines scientifiques (<i>raisonnement propre ; rapport au réel privilégié</i>)	x	x	x	x	x
		La science comme pratique spécifique : démarcation <i>contrairement à la pensée dogmatique, n'est pas faite de vérités révélées....</i>		x	x	x	x
		Les disciplines scientifiques et leurs spécificités	x (B et G)		x		
		La science possède des limites		X modèle	x avancée/stat	x erreurs/réel	x erreurs/réel
		La science s'inscrit dans un cadre conceptuel et d'analyse		x		x	x

Dimensions de la NoS	Sous dimensions (a posteriori)	Catégories (a posteriori)	SVT	PC	SCT-PC	PC	PC
			2 ^{de} à TS	2 ^{de}	1 ^{re} ES-L	1 ^{res}	TS
Élaboration en sciences	Types d'activités	Intellectuelles	x	x	x	x	x
		Pratiques	x	x	x	x	x
	Modalités générales	Elle s'inscrit dans le cadre d'une démarche	x	x	x	x	x
		Elle s'inscrit dans une perspective constructiviste	x	x	x	x	x
	Règles et valeurs associées	Règles d'élaboration de l'argumentation (<i>méthode, rigueur</i>)	x		x		x
		Règles de sécurité	x				
		Règles de mesure et traitement des données (<i>précision</i>)	x (sauf 1 S)	x		x	x
		Règles de validité (<i>confrontation au réel</i>)	x		x	x	x
		Choix d'un langage scientifiquement approprié	x			x	
	Attitudes	Composante cognitive	Capacité critique/Rigueur/Autonomie et organisation/	x	x	x	x
Imagination/créativité			*	x		x	x

Tableau 6 : grille d'analyse thématique (2017)

3.4.2.3 La modélisation au cœur des pratiques

Nous avons abordé plus haut les approches de Lederman (vision consensuelle), d'Irzik et Nola (ressemblances familiales) et de Maurines *et al.* (les pratiques sociales) pour caractériser les sciences. Nous allons à présent examiner la démarche suivie par Maurines (2010) dans un de ses articles centré sur l'enseignement des sciences face au fait religieux. Celui-ci a un double ancrage. D'une part, le texte entend décrire l'activité scientifique selon l'approche de Kuhn (1972). D'autre part, il s'inscrit dans le cadre didactique de la modélisation tout en s'en distinguant.. Avant de montrer en quoi l'auteur s'engage sur la question de la délimitation science/non science, nous nous tournons vers Soler (2009) dont l'ouvrage « *Introduction à l'épistémologie* » nous éclaire quelque peu sur les termes de paradigme et critères de choix que Maurines mobilise dans sa réflexion.

3.4.2.3.1 Paradigme, critères de choix et différences

Soler se réfère à la notion de paradigme introduite par Kuhn dans la « *Structure des révolutions scientifiques* ». Elle souligne que « *le paradigme nomme un ensemble de*

contenus théoriques et de méthodes admis par tous les membres d'une communauté scientifique : il oriente la recherche et cimente le groupe (exemple : le paradigme newtonien ou le paradigme quantique.) » (Soler, 2009, p. 226). Dans le même temps, l'auteure précise qu'il s'agit pour Kuhn d'un consensus dans lequel travaille la communauté scientifique qui comporte trois dimensions distinctes :

- « (1) *s'approprier certains contenus théoriques (l'ensemble des lois et des principes qu'aucun scientifique de la communauté ne songe à contester)*
- (2) *se soumettre à certaines "normes" de la recherche scientifique (reconnaître comme "scientifiques" et/ou spécialement prometteurs certains problèmes et solutions types ; assigner à la recherche des objectifs communs – tels l'efficacité prédictive, la simplicité, etc.).*
- (3) *Acquérir un savoir-faire impossible à réduire à la simple connaissance de contenus théoriques coordonnés au paradigme (développer une compétence théorico-pratique à manipuler non seulement les objets concrets que sont les instruments de mesure, mais aussi les objets abstraits que sont les problèmes théoriques).* » (Soler, 2009, p. 227).

Soler indique que, dans la deuxième édition de 1969, Kuhn formule le paradigme au travers du concept de « *matrice disciplinaire* ». L'auteure en analyse successivement les quatre composantes : les généralisations symboliques, la partie métaphysique, les valeurs et les exemples communs.

En ce qui concerne les « *généralisations symboliques* », l'auteure explique que, « *ce qui fait l'objet du consensus, c'est la forme des généralisations symboliques — et non pas forcément tous les détails de l'interprétation physique susceptible d'y être associée.* » (Soler, 2009, p. 227). Nous y retrouvons donc les expressions mathématiques ou les phrases « *qui sont admises sans discussion par les membres de la communauté scientifique et sont mobilisées de manière inquestionnée pour la résolution de problèmes dans le cadre du paradigme* ». (Soler, 2009, p. 227)

Ensuite, l'auteure évoque la partie métaphysique des paradigmes qui désigne « *les modèles et les images fréquemment usités et valorisés par les membres d'une communauté scientifique* » (Soler, 2009, p. 227). L'auteure cite, par exemple, le gaz

qui se comporte comme s'il était constitué de minuscules boules de billard, mais nous pouvons très bien aussi prendre l'exemple de l'analogie hydraulique dans le cadre de l'électricité. Dans ce sens, soit nous les considérons comme des images pour penser et dans ce cas, leur nature est heuristique, soit nous les considérons comme existantes réellement dans la réalité et leur nature est ontologique. Sous ce dernier terme, nous incluons aussi tous les éléments explicatifs qui vont être considérés comme fondamentaux. Soler met également en évidence que, pendant cette période de « *science normale* », les scientifiques ne sont pas tous d'accord sur tout. Bien qu'ils utilisent des métaphores ou des analogies, ils « *n'adhèrent pas forcément tous avec la même conviction aux modèles métaphysiques associés à un paradigme donné* » (Soler, 2009, p. 228). En plus, ils ne leur donnent pas tous le même statut. Pour certains, ces fameux modèles explicatifs de base ne seront pas considérés uniquement comme heuristiques, tandis que d'autres les considéreront comme ontologiques. Nous pourrions rajouter ici, par exemple, la question du cercle parfait. Est-il réel ou pas ?

Enfin, Soler cite les valeurs qui « *témoignent d'un idéal de scientificité* » et précise qu'elles « *se trouvent plus ou moins rigidement articulées à des préceptes méthodologiques* » (Soler, 2009, p. 228). Ce cadre kuhnien met ainsi en lien la partie théorique du paradigme et la partie métaphysique constituée d'images mentales spécifiques à une discipline, les valeurs étant « *en général très largement partagées et nettement moins propres à une discipline particulière ou à une spécialité disciplinaire que les modèles ou les généralisations symboliques* » (Soler, 2009, p. 228).

Après avoir signalé les cinq valeurs mises en avant par Kuhn, la simplicité, la fécondité, l'envergure, l'exactitude et la cohérence, l'auteure rappelle ses propos à propos des scientifiques : « *ils peuvent avoir en commun certaines valeurs [par exemple, viser la simplicité], mais différer dans leur application [ne pas être d'accord lorsqu'il s'agit de décider laquelle de deux théories rivales est la plus simple]* » (Kuhn, 1983, p. 252 citée par Soler, 2009, p. 229). Soler précise de plus que « *les valeurs peuvent en plus entrer en conflit les unes avec les autres* » (Soler, 2009, p. 229). Soler démontre ainsi que les différentes composantes du paradigme forment un ensemble très imbriqué et relativement indissociable pour Kuhn et que plusieurs qualités de consensus demeurent envisageables. Dans la lignée de Kuhn, l'auteure

conclut : « *Affirmer que la recherche scientifique est structurée par quelque chose de commun aux membres de la communauté, ce n'est pas soutenir qu'aucune divergence n'existe entre ces membres de la communauté, ni que tous les scientifiques sans exception s'accordent exactement sur les mêmes choses* » (Soler, 2009, p. 232). Ainsi, cette citation rappelle que nous pensons trop souvent le paradigme comme un consensus « *commun* » et que nous oublions les « *différences* ». Nous finissons par oublier l'existence même des divergences entre les scientifiques et donc de différence entre leurs critères de choix. C'est ce que met particulièrement bien en évidence Brenner (2011) dans son étude des arguments avancés lors de la transition du géocentrisme à l'héliocentrisme. Prolongeant la réflexion engagée par Kuhn, il met en évidence une hiérarchie différente des valeurs. « *Ptolémée est guidé par la simplicité dans le choix de ses concepts, dans la sélection de ses hypothèses et leur combinaison* ». S'il en est de même de Kepler, ce n'est pas le cas de Copernic qui « *évoque dans les passages où il argumente en faveur de la mobilité de la Terre, les notions d'harmonie ou d'élégance* ». (Brenner, 2011, p. 74-75).

3.4.2.3.2 L'activité scientifique comme activité de modélisation fondée sur les présupposés

L'approche retenue par Maurines pour rendre compte de la recherche d'intelligibilité du monde des scientifiques est inspirée par celle rencontrée dans les études sur la modélisation en didactique des sciences. Elle s'en distingue aussi car elle ne se réfère pas uniquement aux mondes empirique et théorique mais mobilise aussi la dimension métaphysique du paradigme. Elle cherche en effet à mettre en évidence que « *les savoirs scientifiques tendent à l'universalité, mais sont élaborés par des Hommes dont l'activité est fondée sur les paradigmes partagés par la communauté scientifique d'une époque donnée* » (Maurines, 2010, p. 356).

Ainsi, le schéma que Maurines propose (figure 2) fait apparaître trois registres et non deux, le registre empirique et le registre de l'interprétation, ce dernier étant lui-même subdivisé en deux autres, le registre théorique et le registre métaphysique. Tandis que le registre empirique se rapporte aux objets, phénomènes, et faits empiriques, le

registre de l'interprétation concerne les idées. Si le registre théorique²⁴ renvoie aux concepts, lois, modèles, théories, le registre métaphysique réunit les présupposés sur la nature, l'Homme et la connaissance au fondement de l'activité scientifique.

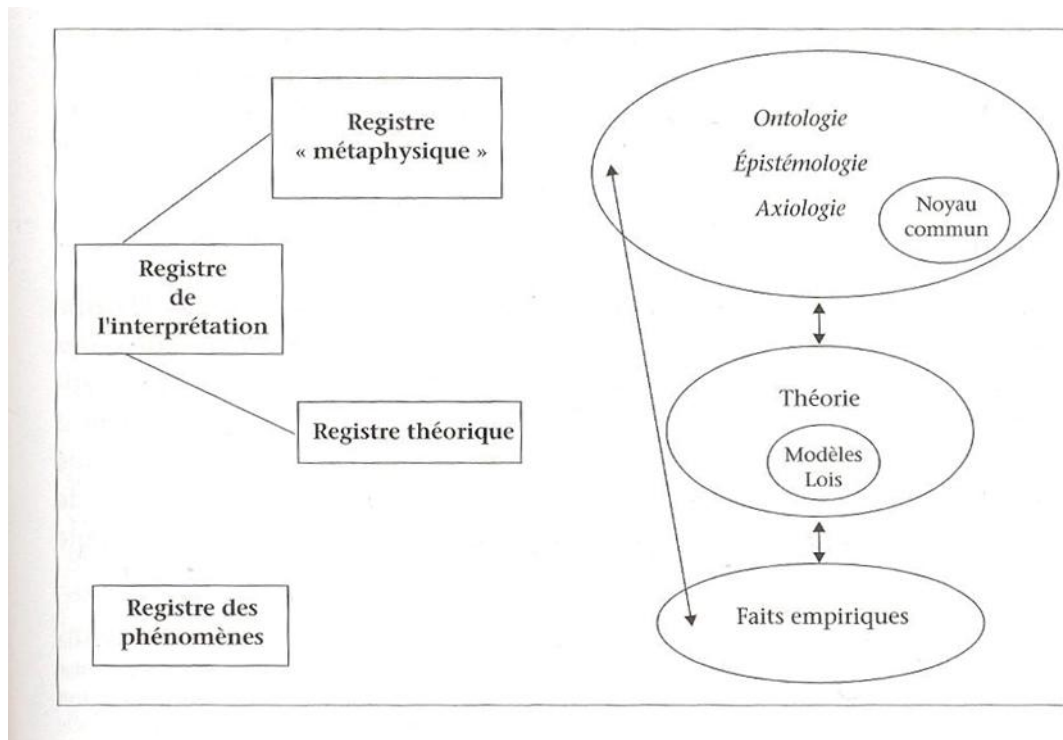


Figure 2 : l'activité de modélisation fondée sur des présupposés (Maurines, 2010, p.359)

Maurines met de plus en lumière sur ce schéma l'existence de différents types de présupposés : certains portent sur ce qui existe en dehors de l'Homme et indépendamment de la connaissance qu'il peut en avoir (présupposés ontologiques), d'autres sur ce qui peut être connu par l'Homme et sur les moyens de connaissance (présupposés épistémologiques), d'autres encore sur les valeurs qui orientent l'activité scientifique (présupposés axiologiques). Ces valeurs concernent la nature des interrogations auxquelles les sciences peuvent répondre, la façon d'y répondre et les preuves à apporter, les interprétations qu'il s'agit de proposer. Ces interprétations font appel aux intelligibles fondamentaux, ou éléments auto-explicatifs selon le philosophe britannique Toulmin (1973), et reposent sur des critères aussi variés que la cohérence interne, la simplicité, la puissance, etc. En ce qui concerne les démarches, Maurines estime qu'elles répondent également à certaines contraintes, notamment de confrontation au monde empirique, tout en notant que les scientifiques

²⁴ Sur ce schéma, les modèles et théories apparaissent comme appartenant à un registre différent de celui des phénomènes tout en n'étant pas exactement sur le même niveau. Les théories constituent un cadre explicatif des modèles et ont un domaine de validité plus large.

naviguent à l'estime entre deux critères de vérité, accord théorie-empirie et cohérence interne des connaissances. Une explication n'est en effet pas nécessairement abandonnée lorsqu'un phénomène la met en défaut.

Il est à noter également sur ce schéma que les différents registres sont mis en relation à l'aide de flèches à double sens. Celle placée entre les registres théorique et empirique témoigne de la nécessité de les mettre en relation pour concevoir et valider des modèles. Celle située entre les registres théorique et métaphysique indique que les présupposés orientent l'activité théorique et que l'évolution des théories peut entraîner une modification des présupposés. Enfin, la flèche entre les registres théorique et empirique indique l'absence de neutralité de l'observation, plus largement des faits empiriques, et de la possible évolution des présupposés grâce à de nouvelles découvertes.

Cependant, Maurines rappelle que tous les scientifiques ne partagent pas les mêmes présupposés. Ils peuvent avoir des représentations différentes du monde, de l'Homme et des sciences, comme l'a montré Kuhn (1972). Ce constat la conduit à catégoriser les présupposés selon qu'ils concernent un seul scientifique ou qu'ils sont admis par un groupe ou plus largement par l'ensemble de la communauté scientifique à une période donnée. Elle note ainsi que le schéma de la figure 2 « *se décline différemment selon le domaine de recherche auquel on s'intéresse et les phénomènes que l'on cherche à interpréter, selon qu'il se rapporte à une communauté donnée ou à un scientifique particulier, voire à un élève ou à un étudiant qui apprend les sciences* » (Maurines, 2010, p. 359).

De plus, Maurines identifie, sur le schéma dans le registre métaphysique, les présupposés partagés et stables fondateurs de l'activité scientifique en le désignant par « *noyau commun* ». En dehors de l'idée qu'il subsiste une réalité en dehors de l'esprit humain, l'auteur précise qu'il semble difficile de trouver un accord unanime sur les autres critères. Nous retrouvons ici la définition philosophique du réalisme. Les points de vue des scientifiques divergent sur la nature réelle de cette réalité, à qui ils peuvent attribuer un ou deux plans. Si celle-ci est supposée constituée de plusieurs plans, la connaissance scientifique ne porte que sur le plan de réalité désigné par « *matière* », autrement dit les questions explorées et les réponses

apportées par les sciences ne peuvent concerner que ce plan (matérialisme méthodologique). De plus, pour que la connaissance scientifique soit possible, la réalité objective n'est pas modifiée par l'ordre divin si celui-ci est supposé exister et possède un « *ordre* » inhérent.

Maurines note de plus que les visions relatives à un même plan peuvent être très différentes selon les scientifiques et leur appréhension du monde. S'oppose ainsi une vision déterministe à une approche basée sur le hasard, ou encore une vision continue à une qui ne l'est pas.

Elle remarque que certains présupposés sont évolutifs et donne à titre d'exemple, le fait qu'à la Renaissance, le présupposé ontologique de l'existence de deux mondes (supralunaire et sublunaire) a laissé place à celui d'une unité, tout comme au XIX^e siècle, avec Lamarck ou Darwin, l'idée d'un monde fixiste a été réfutée. Au XX^e siècle, la constitution de la mécanique quantique a permis de mettre en lumière les limites de la connaissance humaine de l'univers. Maurines estime, cependant, que le caractère évolutif des présupposés ne suggère en rien que les sciences ne dévoilent rien du monde, mais au contraire qu'elles nous disent quelque chose de ce qu'il n'est pas, de dégager des structures et de préciser leur domaine de validité.

Il ressort de l'analyse de Maurines qu'un conflit peut apparaître entre deux visions opposées du monde. D'une part, une vision qui trouve son origine dans celle transmise par les sciences dans la mesure où un sens ontologique leur est accordé. D'autre part, une vision qui s'appuie sur les textes fondateurs des religions dès lors qu'ils font figure de vérité. Cette opposition a pu être observée à l'époque des révolutions copernicienne et darwinienne. Nous pouvons également observer une forme d'exploitation religieuse des théories scientifiques, comme quand le Pape Pie XII fait un parallèle entre la théorie du Big Bang évoqué au premier chapitre et l'idée religieuse de Création. Finalement, l'apprentissage des sciences à l'école peut aussi bien être à l'origine d'oppositions que de convergence.



Nous en venons, pour conclure, à la question de la délimitation. Les différences d'approches et les catégorisations proposées que nous avons présentées s'expliquent par un objectif qui n'est pas le même. Les deux principaux cadres d'analyse anglo-saxons mettent l'accent sur ce qui demeure commun aux différentes sciences (Lederman) ou sur une caractérisation qui vise à permettre d'identifier des ressemblances et différences entre disciplines (Irzik et Nola). Sur la question de la démarcation des sciences, par rapport à d'autres domaines, Matthews note que cet aspect demeure implicite chez Lederman. Nous notons qu'il en est de même chez Irzik et Nola.

Depuis un certain nombre d'années, le cadre des pratiques a changé la position des chercheurs en sciences de l'éducation. Ils ne considèrent plus simplement le savoir comme élaboré par une personne seule face à la nature qui obéit à des règles, mais comme une construction collective. Ainsi Irzik et Nola ou bien Erduran et Dagger, au travers de la « *Family Resemblance Approach* », introduisent des catégories qui permettent de mettre en valeur cet aspect. Leur approche met l'accent sur la dimension communautaire, elle n'inscrit pas les pratiques dans une société, une culture et une histoire.

En France, la grille d'analyse thématique de Maurines *et al.* (2013) prend en compte les sciences dans toutes leurs dimensions. Elle permet de caractériser les savoirs scientifiques et l'investigation comme Lederman a cherché à le faire avec les questionnaires *VNOS et VOSI*. Elle mobilise aussi d'autres approches pour essayer de caractériser à la fois l'activité d'un scientifique et son travail collectif mais aussi ses compétences et qualités, ainsi que l'évolution temporelle des savoirs et leur inscription culturelle. La prise de position de Maurines, Fuchs-Gazellot et Ramage apparaît plus nettement en 2018 dans la revue de Recherches en Éducation :

« [...] nous avons souhaité questionner les sciences en mettant l'Homme au centre, en le plaçant dans un contexte sociétal et historique donné, en le prenant dans ses différentes dimensions et toute sa complexité. Ce faisant, nous considérons qu'un scientifique est avant tout un sujet que celui-ci est multidimensionnel et qu'il peut être croyant, qu'au cours de sa formation, il intériorise peu à peu les différentes composantes du

paradigme et qu'il apprend à travailler dans le cadre du principe du NOMA (non overlapping magisteria : non recouvrement des magistères) » (Maurines, Fuchs-Gazellot et Ramage, 2018, p.55)

Cette approche, que nous pouvons qualifier de psychosociale, reste donc différente de celle des chercheurs qui ne s'intéressent qu'aux pratiques. Elle prend en compte une communauté de pratiques conduites par des acteurs se comportant comme des scientifiques. Ce cadre général plus large a servi de fondement à l'enquête réalisée par DidaScO en 2013 auprès des primo-entrants à l'université Paris-Sud. Le questionnaire visait à explorer les représentations des pratiques dans l'ensemble de leurs dimensions tout en mettant l'accent sur celles davantage en lien avec le métier de scientifique (activités et démarches, communauté, société), le savoir scientifique (caractéristiques, spécificités) sans oublier celles concernant le scientifique (attitudes et qualités).

4. LA NATURE DES SCIENCES, OUI... MAIS COMMENT ?

« Appréhender un concept, c'est l'appréhender dans son histoire, ses variations en extension et en compréhension — autrement dit, appréhender le travail que la philosophie, dans son histoire propre, a fait sur lui (...). »

– Bernardi (2012, p. 14)

Les enjeux de l'apprentissage des sciences sont abordés de façon généraliste et sont souvent sous-entendus dans les programmes éducatifs. Ces derniers ne comportent pas beaucoup de propositions, d'exemples ou d'activités et sont davantage orientés vers la pratique d'une démarche scientifique. À titre d'exemple, le Préambule de physique et chimie du cycle terminal rappelle, à propos de la démarche scientifique : *« contrairement à la pensée dogmatique, la science n'est pas faite de vérités révélées intangibles, mais de questionnements, de recherches et de réponses qui évoluent et s'enrichissent avec le temps »*. Puis, dans un paragraphe sur l'introduction d'une perspective historique, le Préambule poursuit en précisant que les sciences et l'histoire doivent être liées : *« En ce sens, faire connaître à l'élève l'histoire de la construction de la connaissance scientifique est source d'inspiration pour la liberté intellectuelle, l'esprit critique et la volonté de persévérer »*.

Que pouvons-nous proposer concrètement aux élèves en cours de physique-chimie ? La question suppose de savoir comment faire : de manière implicite en mettant les élèves en démarches d'investigation ou alors de manière explicite en introduisant de l'histoire des sciences, par exemple. Ainsi, de nombreuses études internationales suggèrent différentes pistes en réponse à des objectifs d'apprentissage épistémologiques et scientifiques, ou bien épistémologiques uniquement. Elles proposent des approches décontextualisées ou contextualisées, par exemple par étude de cas historique ; la métacognition ; et les situations d'enseignement par démarche d'investigation.

Dans un premier temps, nous avançons quelques propositions pour favoriser l'acquisition d'une vision socioconstructiviste des sciences à l'école, où le but reste d'acquérir des connaissances scientifiques et non épistémologiques. Puis, nous nous intéressons à la question du rôle et de la place de l'histoire des sciences et techniques

dans l'apprentissage de la nature des sciences. Enfin, nous présentons quelques travaux sur l'utilisation de l'histoire de la physique dans l'enseignement secondaire à des fins épistémologiques. Celles-ci se rapportent à la fois à la nature des connaissances scientifiques et à la manière dont elles se construisent, et sur le cadre métaphysique qui fonde les pratiques scientifiques. Cet aspect nous apparaît essentiel pour ne pas considérer les sciences comme une technique basée sur le monde empirique uniquement et pour faire le lien entre le monde empirique et théorique.

4.1 De manière implicite dans une démarche d'investigation

Les démarches d'investigation peuvent être considérées comme un moyen pour replacer implicitement les sciences en contexte, pour renvoyer une image plus authentique de leur nature aux élèves. Comme le précise Schwab dès 1962, le but de l'investigation est bien de passer d'un apprentissage des connaissances scientifiques, autrement dit des produits de la science, à un apprentissage des processus de la recherche scientifique. L'enseignant cherche à développer les pratiques scientifiques des élèves et à montrer ainsi comment sont élaborées les connaissances scientifiques. Cette approche peut être adaptée à de nombreux contextes, et même aux cas historiques et contemporains, et à différents objectifs d'apprentissage, y compris épistémologiques.

Selon Abd-El-Khalick *et al.* (2004) et le Conseil national de recherches (2013) les démarches d'investigation sont des pistes pour travailler la *NoS* en tant que modèle de « *pratiques scientifiques* », notamment en :

- identifiant des problèmes ;
- concevant des questions de recherche ;
- conduisant des investigations ;
- analysant et interprétant des données ;
- formulant, communiquant et défendant des hypothèses, des modèles et/ou explications.

Plusieurs aspects techniques peuvent également être impliqués comme la conception de procédures complexes, en utilisant des techniques pour éviter les biais de perception. D'autres concernent le raisonnement sur l'erreur expérimentale, et la

résolution de résultats contradictoires (Aydeniz, Baksa, et Skinner, 2011). Ce travail d'investigation peut être réalisé par un élève ou par un groupe d'élèves, ce qui reflète le monde réel de la recherche scientifique (Nielsen, 2012). Le rôle de l'enseignant est considéré comme central. Dans tout environnement d'apprentissage, il est attendu qu'il fournisse une certaine structure externe et d'orientation. En effet, comme l'a noté Sandoval (2005), « *l'approche largement non structurée à l'apprentissage de découverte préconisée dans les années 1960. . . [Par exemple, par Jerome K. Bruner] est trop difficile pour la plupart des élèves* » (Sandoval, 2005, p. 637).

Toutefois, les démarches d'investigation ainsi mises en place en classe présentent des limites. Abd-El-Khalick *et al.* (2004) montrent que la démarche implicite semble moins efficace sans métacognition.

4.2 Pratiquer une réflexion épistémologique

Habituellement, les enseignants prêtent une attention presque exclusive aux contenus scientifiques explicites tels que les concepts, les résultats, les lois et les expériences, et laissent généralement de côté les discussions à visées épistémologiques autour de la nature des sciences. Pourtant, ces discussions pourraient aider à clarifier certains aspects des théories scientifiques qui ne sont pas clairs pour les élèves, en plus d'améliorer leur compréhension de la *NoS*. Nous avons retenu quatre études qui pratiquent l'épistémologie en cours de sciences (Shipman *et al.*, 2002 ; Hansson et Redfors, 2005 ; Martin-Hansen, 2005 ; Coince *et al.*, 2008).

4.2.1 L'activité de modélisation et la distinction des mondes empirique et théorique

Au niveau de l'enseignement secondaire en France, Coince, Miguet, Perrey, Rondepierre, Tiberghien, et Vince (2008) ont proposé et analysé une séquence d'enseignement de seconde sur l'activité de modélisation. L'objectif principal est de conduire les élèves à distinguer ce qui relève du monde des objets et des phénomènes du monde des modèles. Les chercheurs considèrent, en effet, que la différence entre modèles et théories joue un rôle mineur dans l'enseignement secondaire. La figure ci-

dessous montre de façon schématique la modélisation. Ce schéma est simplifié de manière à ne représenter que deux mondes.

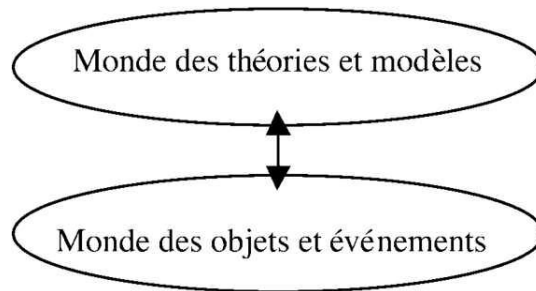


Figure 3 : La mise en relation des modèles et des objets et événements (Coince *et al.*, 2008, p.7).

Les résultats indiquent que le point de vue des élèves semble généralement assez proche de celui des enseignants. Pour mieux comprendre le rôle de la modélisation, les chercheurs soulignent la « *nécessité de définir ce qu'est la physique pour pouvoir en faire* » (Coince *et al.*, 2008, p.16).

4.2.2 Un jeu de cartes pour discuter des présupposés fondateurs de l'activité scientifique

Hansson et Redfors (2005) ont établi un jeu dont l'objectif est de classer des énoncés figurant sur des cartes en trois familles : ceux qui sont en rapport avec la physique ; ceux qui ne le sont pas ; et ceux qui se rapportent à la physique, mais qui vont au-delà. Leur but est la réussite des élèves dans la différenciation des présupposés qui fondent la pratique scientifique de ceux relevant d'une approche scientifique ou religieuse du monde. La première étape consiste pour les élèves à indiquer par écrit et seul ce que leur évoque chacun des énoncés. Puis, le travail se fait en petits groupes avec un classement des énoncés. Enfin, les résultats sont partagés avec l'ensemble de la classe ; une personne par groupe les inscrivant au tableau. À travers ces activités, les élèves ont la possibilité d'analyser et de confronter des idées partagées par des tiers.

4.2.3 Exprimer son rapport à des savoirs scientifiques connus pour être potentiellement vifs

À l'étranger, d'autres activités visent à impliquer davantage les élèves qui peuvent partager leurs propres opinions. Aux États-Unis, lors d'un cours universitaire de

première année portant sur la théorie de l'évolution, Martin-Hansen (2005) a, par exemple, proposé à ses élèves deux activités. Dans la première activité, chaque élève devait écrire deux lettres : l'une à un ami pour lui expliquer sa représentation de la nature des sciences et l'autre pour établir le récit de son rapport à la théorie de l'évolution. La seconde activité avait pour objectif d'aborder les croyances des élèves sur le monde, telles que les croyances religieuses.

Cela va également dans le sens des interrogations sur le big-bang que Hansson et Redfors (2005) ont adressé à des lycéens de dernière année du secondaire en Suède. Ces derniers devaient indiquer le point de vue de la physique, ainsi que leur propre point de vue sur l'univers : l'univers est-il intemporel ou a-t-il un point de départ ? Est-il statique ou évolutif ? Bien que ces interrogations permettent aux chercheurs de faire avancer leurs travaux, celles qui ont été proposées par Shipman *et al.* (2002) à des élèves américains, de première année ont été imaginées pour les besoins d'un cours d'astrophysique. Le cours se découpait en trois périodes où était abordée la relation entre sciences et religions, et où les élèves pouvaient engager des débats, des échanges entre eux et avec leur professeur. Aucune note ne leur était attribuée. Seuls des points étaient accordés si les élèves s'impliquaient dans les travaux demandés.

4.2.4 Les questions que soulèvent ces activités

De nombreuses interrogations peuvent surgir lorsque nous proposons des activités à visée épistémologique. Elles interpellent, en effet, car l'enseignant peut se questionner sur la réaction des élèves face à de telles activités ou sur leur résultat. Des réponses concrètes à ces questions ne peuvent être apportées pour le moment, faute de recherches suffisantes en la matière, mais quelques résultats peuvent toutefois être présentés suite à des recherches à l'étranger.

Shipman *et al.* (2002) que nous avons cités précédemment indiquent que la plupart des élèves souhaitent pouvoir réfléchir aux rapports entre sciences et religions lors d'un cours de sciences. Seuls 33 sur 202 de leurs élèves s'y opposaient. Ce résultat laisse imaginer une possible évolution de l'idée que se font les élèves des sciences, notamment au sujet de la relation sciences — religions. 120 élèves considèrent que

réfléchir de la sorte leur a permis de mieux appréhender les particularités des sciences, tandis que 33 estiment que cette réflexion ne leur apporte rien. Néanmoins, Maurines (2010) souligne qu'il convient de s'interroger sur ce dernier résultat, car les élèves ne connaissent pas l'évolution des conceptions de la nature des sciences et des relations sciences — religions. Quant à Hansson et Redfors (2005), les résultats de leurs recherches sur le jeu de cartes épistémologique indiquent que le travail en petits groupes n'a pas permis aux élèves une compréhension correcte et que l'encadrement par un professeur préalablement formé semble nécessaire.

4.3 Intégrer une approche historique

L'histoire des sciences fourmille d'exemples qui peuvent justement avoir un rôle à jouer auprès des élèves et qui peuvent nous éclairer sur la *NoS*. Plutôt que d'étudier un simple aperçu historique d'une découverte scientifique particulière, Kuhn rappelait déjà que les élèves avaient besoin de replacer le fait historique dans le contexte social de l'époque, en mettant l'accent sur une séquence narrative qui met en valeur les contrastes entre les idées opposées. L'auteur insistait dès lors sur l'importance de l'approche socioculturelle :

« L'histoire, si on la considérait comme autre chose que des anecdotes ou des dates, pourrait transformer de façon décisive l'image de la science dont nous sommes actuellement empreints » (Kuhn, 1983, p.17)

L'utilisation de thèmes de la *NoS*, ancrés dans des contextes sociohistoriques, ouvre plusieurs nouvelles possibilités pour l'enseignement des sciences. L'approche historique vise notamment à rejeter certains mythes scientifiques et à montrer que les connaissances scientifiques actuelles ne sont pas une vérité définitive et sont susceptibles de changer (Matthews, 1994). Ainsi, dans cette perspective, les travaux en classe avec des thèmes et des activités sur l'histoire des sciences et techniques peuvent contribuer à promouvoir un enseignement scientifique plus culturel et contextualisé. Ils peuvent favoriser une meilleure compréhension des concepts scientifiques, mais aussi des idées sur la façon dont les sciences fonctionnent dans leur relation avec la société (Matthews, 1994 ; McComas *et al.*, 1998).

4.3.1 Quels enjeux et objectifs d'apprentissage ?

Contrairement à la France, où il existe un flou concernant l'introduction de l'histoire des sciences en cours de sciences, les États-Unis ont lancé une réforme des programmes éducatifs il y a une vingtaine d'années. Pour faire suite au *project 2061* de l'Association américaine pour l'Avancement des Sciences (AAAS), en 1985, des experts ont publié, en 1989, un recueil destiné aux enseignants : *Science for all Americans*. Ils y écrivent de quoi doit être constituée la culture scientifique, mathématique et technologique de chaque Américain. Ils y abordent ainsi la nature des sciences ou encore l'histoire des dix thématiques majeures du développement des sciences. L'AAAS (1993) semble conforme au point de vue de Kuhn :

« L'histoire nous fournit un autre moyen de comprendre comment fonctionne la science... il est tout aussi important que les élèves doivent se rendre compte qu'une bonne partie du développement de la science et de la technologie a donné lieu à une accumulation progressive des connaissances au fil des siècles. » (AAAS, 1993, p. 4)

L'histoire des sciences sollicitée dans les cours scientifiques peut donc permettre de débloquent certaines situations chez les élèves du secondaire, voire même du primaire et du supérieur. Revenir à l'histoire des concepts, leur élaboration au fil du temps, aide à mieux comprendre la nature des sciences. Toutefois, l'AAAS (1993) propose également une mise en garde au sujet de ces anecdotes, en rappelant que :

« Les approches historiques ne devraient pas toutes mettre l'accent sur la vie des grands scientifiques, relativement peu nombreux, qui, en raison de leur génie, d'opportunité et de bonne fortune, sont les plus connus. Les élèves doivent apprendre que toutes sortes de gens... se sont consacrées et continuent de se consacrer à la science. » (AAAS, 1993, p. 4)

Au regard des précédentes études et des recommandations de l'AAAS, un des enjeux est de savoir comment intégrer efficacement l'histoire des sciences en classe tout en

étant en même temps conscient des multiples contraintes qui régissent la pratique de classe. Effectivement, aborder l'épistémologie en classe ne signifie pas faire un cours exclusif sur le sujet, mais vise à exposer aux élèves une idée des sciences et de leurs fondements. Nous pouvons pour cela nous demander comment instaurer une approche historique qui prendrait en compte une démarche socioconstructiviste des sciences.

4.3.2 Deux approches proposées sur l'histoire des sciences

Pour introduire l'histoire des sciences dans les cours de sciences, il existe généralement deux approches dénommées internaliste et externaliste.

L'approche internaliste ne s'intéresse qu'à la communauté scientifique. L'avancée des connaissances scientifiques ne dépend pas de facteurs externes à la communauté scientifique, comme par exemple, l'orientation des politiques scientifiques, des budgets ou des facteurs sociaux. Mathy (1997) a montré les limites de cette approche :

« Le savoir scientifique apparaît bien comme unique et éternel et, de plus en plus, complet, puisque toutes les relectures théoriques survenues historiquement sont gommées au profit d'une reconstitution historique où il n'est question que de faits qui s'ajoutent les uns aux autres » (Mathy, 1997, p. 126).

Une vision internaliste se place dans une position très rationaliste des sciences avec l'idée qu'il existe des raisons sur la façon dont avancent les connaissances scientifiques. En revanche, dans une vision externaliste, des facteurs psychologiques ou sociologiques comme la notion de paradigme sont présents. Dans la communauté scientifique, plusieurs groupes différents défendent différentes positions et il n'existe pas des facteurs rationnels stricto sensu qui font qu'une position prend le dessus par rapport à l'autre. Kuhn expliquait finalement, de manière très caricaturale, qu'une position prend par rapport à l'autre, parce que ceux qui défendent les anciennes visions finissent par disparaître.

En définitive, nous pouvons dire que les deux approches sont à considérer : il existe des raisons qui ne sont pas uniquement rationnelles, qui dépendent des rapports de pouvoir entre les communautés ou encore des raisons économiques. Einstein n'acceptait pas la notion de hasard et cet exemple montre à quel point il n'était pas uniquement rationnel. Il existe des préférences liées à des présupposés ou des valeurs.

4.3.3 Les propositions pédagogiques anglo-saxonnes fondées sur la recherche

Plus récemment, des publications ont suggéré des pistes d'enseignement de la *NoS* pour chaque niveau, du primaire au lycée. Parmi elles, sont précisées des pistes portant sur l'histoire des sciences, et plus spécifiquement sur son évolution. Les dimensions historiques et épistémologiques de la culture scientifique y sont valorisées, c'est pourquoi les recherches sur l'histoire des sciences ayant une portée épistémologique sont essentiellement effectuées dans des pays anglo-saxons.

Abd-El-Khalick et Lederman (2000) ont analysé les résultats d'un enseignement de l'histoire des sciences dans les cours de sciences selon huit thèmes identifiés de la *NoS*. Grâce à des questionnaires et des entretiens, les chercheurs ont mis en évidence que les élèves qui ont progressé à la fin du cours étaient ceux qui avaient déjà de meilleures connaissances et que la plupart des élèves ont en fait peu amélioré leur compréhension de la *NoS*. Les auteurs pensent qu'une des raisons pour laquelle les cours d'histoire des sciences ne parviennent pas à induire de progrès dans la compréhension de la *NoS* est l'incapacité des élèves à faire abstraction de leur réalité actuelle et de les étudier à partir d'un point de vue strictement historique.

Tao (2003) constate que les élèves du secondaire qui ont été impliqués dans des activités en lien avec l'histoire des sciences ont développé et renforcé une image plus juste de la *NoS*. Cependant, Allchin (2003) suggère que les anecdotes scientifiques, comme ersatz de la culture scientifique, peuvent tromper les élèves sur les fondements épistémologiques des sciences. Par leur nature même, soutient-il, ces histoires contiennent des éléments surhumains, elles monumentalisent les sciences, fixent des attentes irréalistes de cette activité humaine. Elles idéalisent ainsi les

sciences en sous-estimant les incertitudes de cette activité, et en présentant toujours au public un seul point de vue. Ces éléments créent au sein des élèves l'impression que les scientifiques suivent une méthode particulière. Par des expériences bien conçues, ces derniers ne font pas d'erreur, et l'interprétation des preuves leur permet de répondre de façon catégorique aux questions scientifiques. Finalement, ces éléments induisent l'idée que les sciences sont considérées comme la seule vérité, sans laisser place aux incertitudes ou aux erreurs.

Plusieurs chercheurs (Abd-El-Khalick et Lederman, 2000 ; Adúriz-Bravo, 2010 ; Höttecke, Henke et Riess, 2012) suggèrent, au-delà de l'histoire anecdotique, de pratiquer une réflexion épistémologique explicite. Adúriz-Bravo (2010), par exemple, cherche à établir des propositions cohérentes avec une vision contemporaine des sciences. Il renvoie aux enseignants leurs propres conceptions et tend à leur montrer l'évolution de la *NoS* en vue d'éclairer leurs choix.

4.3.4 Monde francophone, en particulier la France.

En explorant le thème de l'évolution au lycée, l'étude d'Aroua (2006) porte sur un dispositif d'enseignement contextualisé. A partir d'un travail autour de textes historiques et contemporains, elle met en place une réflexion épistémologique sur l'évolution du vivant et plus généralement sur la nature des sciences. Aroua montre que les lycéens de dernière année peuvent réaliser que leur appréciation de la religion est concordiste²⁵ et la faire ensuite évoluer. Il semble sans doute plus simple de faire réfléchir les élèves quand leur vision de la relation sciences – religions n'est pas tronquée par une lecture trop textuelle des livres sacrés.

En 2011, Maurines et Beaufile se sont centrés sur l'apprentissage d'un point de vue épistémologique, proposant une série d'activités dans le domaine de l'optique. La séquence d'enseignement se base sur un corpus de document et la construction d'un diagramme d'interaction portant sur la réfraction de la lumière. Il s'agit de montrer aux élèves que les sciences peuvent faire l'objet de désaccords et que les savoirs scientifiques sont confrontés à des faits expérimentaux. Les objectifs éducatifs ne

²⁵ Le concordisme vise à établir une concordance entre les textes religieux et les données scientifiques.

comportent pas de lien avec les croyances et les religions, mais ils mettent l'accent sur l'ensemble de la communauté scientifique, en montrant que les scientifiques s'appuient sur les savoirs existants pour valider leurs recherches. Ce projet a été prolongé par une étude conjointe en Tunisie (Släimia, 2014) sur l'image de l'activité scientifique au travers de l'histoire de la dioptrique.



Enfin, il n'en reste pas moins, comme le rappelle Allchin (2014), qu'il est important de tenir compte de la diversité des approches. Aucune de ces approches n'est à exclure a priori, puisque toutes présentent des intérêts. Au-delà des cas historique ou contemporain, il s'agit d'assurer la cohérence entre les objectifs annoncés, les contenus proposés aux élèves, ainsi que les tâches demandées aux élèves et l'institutionnalisation réalisée par l'enseignant (Lebeaume, 2000 ; ByBee, 2003 ; Hodson, 2008).

Deuxième partie : Conception de l'étude empirique

Malgré les limites inhérentes au sujet et au contexte (analyse quantitative et qualitative, études anglo-saxonnes et françaises, différenciation d'appréciation des termes), les résultats des recherches présentées dans la partie précédente révèlent que les élèves et les enseignants possèdent des représentations des sciences et des scientifiques voisines et pas toujours conformes à l'épistémologie contemporaine. L'idée sous-jacente à l'ensemble de ces études est que l'image de la *NoS* des élèves est influencée, du moins en partie, par l'enseignement en classe. Alors, comment aborder les sciences pour en donner une image plus riche, voire plus authentique, dans le contexte scolaire français ?

Nous présenterons dans les deux premiers chapitres suivants la problématique générale et nous introduirons une référence historique et épistémologique nécessaire à notre travail. L'élaboration de la séquence et de l'expérimentation sera décrite dans les troisième et quatrième chapitres. Pour finir, le cinquième chapitre exposera la méthodologie d'analyse que nous avons adoptée.

1. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

1.1 Contexte

La visée actuelle de l'enseignement en France met en avant une culture scientifique citoyenne. Dans les programmes d'enseignement de physique-chimie du secondaire, la vision de la culture scientifique citoyenne reste toujours associée aux sciences en société, par exemple, la pollution, les nanotechnologies ou les OGM. Toutefois, cette culture peut aussi être associée aux rapports sciences-cultures et à des questions en lien avec les visions du monde, en particulier religieuses, et le périmètre

des sciences. Nous retrouvons cet aspect, déjà présent dans le texte ministériel de 2004 « *la laïcité au cœur des enseignements* », dans des textes plus récents comme celui de la « *pédagogie de la laïcité* » (Bidar, 2012) ou celui des « *Valeurs de la république et enseignement de la physique-chimie* » (MEN, 2016).

La revue de littérature montre que la *NoS* est considérée comme une composante fondamentale de la culture scientifique. Driver (1996) évoque notamment l'argument culturel et l'importance de la compréhension de la science comme mode d'appréhension du monde. Aikenhead (1996) et Cobern (2000), ancrant leur réflexion dans les *Cultural Studies*, s'intéressent aux *worldviews* et à la question des rapports sciences-religions.

Les deux dimensions de la culture scientifique mentionnées plus haut ont donné lieu à deux courants de recherches en éducation, l'un désigné par l'acronyme *QSSV* (questions scientifiques socialement vives), l'autre ancré dans les *Cultural Studies*. Dans ce contexte, le second courant a retenu notre attention, car peu de travaux ont encore été entrepris en France.

Dans la partie précédente, nous avons décrit les difficultés rencontrées par les élèves à propos de *l'idée de science*.

D'une part, nous avons observé des représentations des rapports sciences-religions de type « *conflit* » ou concordiste, le rejet des sciences ou la démotivation pour les métiers scientifiques suite à des croyances religieuses. D'autre part, la vision des sciences elle-même pose beaucoup de difficultés : une vision empiriste et inductive, l'observation neutre ou du modèle-réalité. Les élèves ont ainsi tendance à considérer les sciences comme apportant seulement de nouvelles compréhensions des faits, les isolants de leur contexte historique et culturel. En outre, un certain nombre d'études montrent que les élèves partagent l'idée que les sciences disent la vérité. Ils restent donc ancrés dans le mythe d'une science parfaitement objective suivant un processus cumulatif de découvertes.

Nous avons également évoqué les différentes stratégies proposées dans les recherches pour travailler la *NoS*. L'introduction de l'histoire des sciences en cours de sciences

est l'une d'elle. C'est également une approche recommandée par les programmes de physique-chimie du secondaire en France depuis plusieurs années parallèlement à la mise en activité des élèves. Ainsi, les anciens programmes de physique-chimie mettent en avant la pratique de la démarche scientifique et demandent d'introduire une approche historique, afin, par exemple, de permettre aux élèves de comprendre « *ce qui différencie les sciences des autres domaines de la connaissance* » (M. E.N. 2002, p. 15). Le préambule du nouveau programme de physique-chimie pour le cycle de terminale scientifique (B.O.E.N. spécial no 9 du 30 septembre 2010) met également l'accent sur ces méthodes pédagogiques, en recommandant que l'enseignant utilise : « *l'approche historique comme démarche didactique destinée à mettre la science en contexte et en culture* ».

Mais les objectifs d'une telle introduction sont formulés de manière trop générale ou trop implicite pour être opérationnels (Maurines *et al.*, 2013). La traduction dans les faits de ces intentions des programmes dépend donc entièrement de la volonté et de l'investissement individuels des enseignants.

1.2 Problématique et hypothèses

Face aux constats précédents, nous avons souhaité explorer comment aider les élèves à dépasser leur vision naïve des sciences et notamment à mieux saisir les rapports entre sciences et croyances religieuses, grâce à l'introduction de l'histoire des sciences en classe de physique. Autrement dit, nous sommes là au cœur de notre problématique générale : **est-il possible de faire évoluer les représentations des sciences des élèves quant au rapport sciences-croyances grâce à l'Histoire des sciences ?**

Cette problématique revient à examiner s'il est possible de leur transmettre une vision plus authentique et plus riche à ce sujet, autrement dit savoir distinguer les registres religieux et scientifiques, sans dichotomie entre sciences et croyances compte tenu de l'existence de présupposés et de critères de choix non rationnels dans les pratiques scientifiques. Cela conduit plus précisément à savoir distinguer ;

- deux types de discours et de présupposés ;

- ce qui relève de l'individu, le scientifique, qui peut-être croyant ou non, et ce qui relève des savoirs et discours scientifiques, qui ne mobilisent pas le registre religieux.

Nos hypothèses sont les suivantes :

- Les élèves ont des conceptions largement incompatibles avec le cadre de référence de l'épistémologie contemporaine. Ils partagent souvent une vision empiriste (l'observation prime sur la théorie) et en partie réaliste des sciences. En outre, ils considèrent que la connaissance s'acquiert par une observation neutre indépendante de l'observateur et qu'il existe une incompatibilité entre les sciences et les croyances. Les sciences sont pour eux rationnelles, logiques et monodimensionnelles. En ce qui concerne les rapports sciences-religions, il existe notamment des représentations de type conflit ou concordiste.
- Une approche explicite et réflexive fondée sur l'histoire des sciences avec des outils basés sur la modélisation (schémas, tableaux) devrait faire évoluer de manière significative les conceptions des élèves.

Cette problématique relative à l'évolution des représentations des élèves nécessite l'examen de trois points :

- Quelle séquence d'enseignement à caractère historique proposer aux élèves ?
- Quels outils de recherche élaborer et mettre en œuvre pour explorer les représentations des élèves et estimer leur évolution ?
- Quelles méthodes d'analyse mettre en œuvre ?

Avant de poursuivre, précisons que compte tenu de notre projet d'un travail contextualisé dans l'histoire des sciences, nous serons amenés à décliner l'objectif épistémologique général sur les rapports sciences-croyances en objectifs plus précis une fois le thème historico-scientifique présenté. Précisons également que les questions de recherche auxquelles nous chercherons à répondre tiennent compte des contraintes de mises en œuvre d'une séquence d'enseignement en classe de terminale.

1.3 Choix du thème historico-scientifique

Pour instaurer une base raisonnable d'étude de la *NoS* fondée sur les conceptions des élèves, il semble possible de s'appuyer sur le cas emblématique de l'histoire des sciences qui est celui de la controverse ptoléméo-copernicienne.

Le passage du système géocentrique au système héliocentrique et la détermination des lois de Kepler sont des repères historiques importants que nous pouvons aborder par des textes allant d'Aristote à Newton au travers d'une approche pluridisciplinaire combinant physique et philosophie. Cette problématique historique trouve sa place dans les programmes de physique-chimie de terminale S. Le thème « *Temps, mouvement et évolution* » de la partie « *Comprendre : lois et modèles* » permet d'aborder les grands systèmes du monde, mais cela n'empêche pas la généralisation de la démarche à tous les niveaux d'enseignement du lycée.

Temps, cinématique et dynamique newtoniennes

Mouvement d'un satellite.

Démontrer que, dans l'approximation des trajectoires circulaires, le mouvement d'un satellite, d'une planète, est uniforme. Établir l'expression de sa vitesse et de sa période.

Révolution de la Terre autour du Soleil. Lois de Kepler.

Connaître les trois lois de Kepler ; exploiter la troisième dans le cas d'un mouvement circulaire.

Tableau 7 : Extraits du programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie en classe terminale de la série scientifique. Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011.

De plus, comme nous l'avons mentionné plus haut, un passage désigné « *La mise en perspective historique* », dans le préambule des programmes de physique-chimie du cycle terminal, appelle à étudier l'histoire des sciences avec les élèves et mentionne ce thème scientifique :

« La plus grande révolution dans l'histoire de la pensée, l'hypothèse copernicienne, n'a pas été avancée pour des raisons liées aux observations du temps, qui trouvaient une explication apparemment plus naturelle dans la cosmogonie aristotélicienne. La validation n'est venue que plus de deux cents ans après, avec la découverte du petit mouvement parallactique des étoiles grâce au progrès technique réalisé dans les instruments d'observation. »²⁶

En philosophie, les sciences peuvent être abordées à plusieurs moments, par exemple, dans le chapitre sur la technique. En toute rigueur, elles relèvent de la partie sur « *La raison et le réel* » présente dans les programmes des différentes filières, comme le montre les extraits du programme de philosophie en classe terminale :

La culture	<ul style="list-style-type: none"> – Le langage – L'art – Le travail et la technique – La religion – L'histoire
La raison et le réel	<ul style="list-style-type: none"> – Théorie et expérience – La démonstration – L'interprétation – Le vivant – La matière et l'esprit – La vérité

Tableau 8 : Extraits du programme de philosophie en classe terminale des séries générales. Bulletin officiel n° 25 du 19 juin 2003. Série littéraire

²⁶ Arrêté du 21 juillet 2010 fixant le programme d'enseignement spécifique de physique-chimie en classe de première de la série S — Article Annexe

La culture	<ul style="list-style-type: none"> – L’art – Le travail et la technique – La religion
La raison et le réel	<ul style="list-style-type: none"> – La démonstration – Le vivant – La matière et l’esprit – La vérité

Tableau 9 : Extraits du programme de philosophie en classe terminale des séries générales. Bulletin officiel n° 25 du 19 juin 2003. Série scientifique.

Si les thèmes de la vérité, la démonstration, le vivant et la matière et l’esprit sont communs, ce n’est pas le cas du rapport théorie et expérience. S’il est explicitement demandé de l’aborder en terminale littéraire, ce n’est pas le cas en terminale scientifique. Même si ce thème pourrait être abordé, il semble qu’en pratique cela ne soit pas le cas. Les recherches montrent, en effet, que le curriculum caché n’est pas mis en pratique par les enseignants.

1.4 Le contexte et l’approche retenus pour l’expérimentation

Différentes options s’offraient à nous pour expérimenter une séquence d’enseignement innovante ayant pour objectif central la *NoS*. Après avoir envisagé la possibilité d’expérimenter une séquence impliquant également un professeur de philosophie, nous avons décidé de réaliser une expérimentation dans le cadre de l’enseignement de physique-chimie, plus précisément dans une de nos classes. Notre démarche de recherche est donc une étude de faisabilité en terminale scientifique, le chercheur étant lui-même l’enseignant.

Le domaine scientifique choisi est celui des modèles d’univers et le but de la séquence d’enseignement est de montrer que des présupposés personnels et culturels orientent le choix des « *scientifiques* » dans l’élaboration des théories et dans l’observation, que les présupposés fondant la pratique scientifique ne relèvent pas du

registre religieux. En dehors de la relation entre la théorie et l'expérience qui semble valorisée à la fois en physique-chimie et en philosophie, il paraît nécessaire de montrer clairement que le travail scientifique ne se limite pas à une découverte neutre de la vérité, mais semble parfaitement indissociable des autres aspects de la culture de l'Homme, notamment les croyances. Dans un tel contexte, l'approche centrée sur l'histoire des sciences prend tout son sens : elle nous montre à travers la succession des modèles/paradigmes que l'évolution des savoirs scientifiques ne trouve pas toujours son origine dans la découverte de nouveaux faits d'expérience, mais qu'elle reste souvent liée à des changements culturels qui finissent par faire évoluer puis abandonner l'ancien paradigme.

Notre travail s'inscrit dans la continuité du travail réalisé par le groupe DidaScO concernant l'introduction de l'histoire des sciences dans l'enseignement de la physique (Maurines et Beaufile, 2011). Il relève de l'ingénierie didactique (Artigue, 1988) et il couple deux types d'études, théoriques et empiriques, qui comprennent trois phases : conception de la séquence innovante, expérimentation en classe, analyse de l'impact. Le processus de validation de l'expérimentation en classe est interne et repose sur la confrontation entre analyse *a priori* et *a posteriori*.

Notre approche s'appuie sur un thème scientifique (modèles d'univers) et une étude de cas historique (« révolution » copernicienne), ce qui la différencie de la séquence pédagogique de Hansson et Redfors (2007) fondée sur un jeu de cartes épistémologiques, dont les objectifs sont, cependant, les mêmes. Elle propose, par ailleurs, des études documentaires et des activités de synthèse pour les élèves. À notre connaissance, hormis les propositions de DidaScO, il n'existe aucune proposition de ressources historiques de ce type (Höttecke, Henke et Riess, 2012).

Avant de présenter plus le détail de la séquence, il semble indispensable de réaliser une analyse épistémologique approfondie de l'histoire des modèles d'univers, de l'Antiquité à la période moderne, pour comprendre les arguments avancés et la nature des preuves, les conceptions épistémologiques et les présupposés qui orientent la réflexion des scientifiques.

2. CONTENUS THEORIQUES ET EPISTEMOLOGIQUES DE LA COSMOLOGIE DE PLATON A GALILEE

Si l'histoire des sciences multiplie les exemples de ruptures ou révolutions théoriques, il reste que le passage du géocentrisme à l'héliocentrisme est particulièrement significatif. Tout d'abord, ce changement de paradigme reste celui qui est le plus connu du grand public et constitue donc par là une base raisonnable d'étude de la nature des sciences dans l'opinion commune. Ensuite, au sein même du cursus scolaire, cet exemple est abordé à plusieurs reprises et fait figure de modèle de l'évolution scientifique. Abordé sous l'angle de son contexte en classe de seconde, il servira de pivot au professeur de philosophie pour la compréhension des sciences dans le programme de terminale de la série scientifique. Il figure parmi les exemples les plus abordables du programme de physique-chimie, car il ne demande pas, pour être bien compris, de posséder une connaissance technique ou de procéder à des calculs abstraits. Plus qu'un autre, il fait donc figure de paradigme lorsqu'il s'agit de penser le devenir des sciences. De plus, au-delà même d'un cadre purement scolaire, ce développement reste l'un des plus documentés et discutés de l'histoire des sciences tant il met en valeur l'interpénétration des différents éléments (culturels, politiques, religieux...) qui façonnent les sciences. Il permet donc de bien voir que cette image est débordée de toute part et renvoie à des éléments qui sont, en droit, hétérogènes. En s'attaquant à la place de l'homme au sein de l'Univers et en discutant des positions théologiques établies depuis des siècles, il montre à quel point les sciences ne se limitent pas à une découverte neutre de la vérité.

Enfin, il s'agira de déterminer à partir de son étude ce qui se cache derrière la notion, désormais populaire, de « *révolution scientifique* ». Nous montrerons que, derrière cette révolution, réside en réalité tout un processus continu constitué de réfutations partielles et de changements méthodologiques qui préparent la bascule d'un paradigme à un autre sans en faire l'œuvre d'un héros solitaire des sciences. L'image de la nature des sciences se trouve bouleversée par un tel changement qui, sans être une rupture, constitue indéniablement le passage vers la science moderne que viendront conforter les analyses plus structurelles de Bacon, mais surtout de Descartes. Nous quittons l'image du savant solitaire pour construire la représentation

moderne de la communauté scientifique, qui trouvera d'ailleurs dans le procès de Galilée l'occasion d'une première épreuve. Cette dernière dévoile à quel point une découverte est toujours solidaire de présupposés partagés par les membres de cette communauté.

Pour nous assurer de saisir au mieux les tenants et les aboutissants du point de vue de la *NoS* d'un tel exemple, nous avons voulu le présenter sous une double perspective. Tout d'abord, puisque les sciences ne sont pas établies à cette époque dans une représentation figée, il paraît essentiel de resituer le cadre d'une telle bascule. Nous commencerons donc naturellement par discuter l'élaboration du modèle des sciences qui encadre cette découverte pour, dans un deuxième temps, comprendre cette rupture et les effets qu'elle a pu avoir tant sur le plan scientifique que culturel. Nous verrons alors, dans le détail, en quel sens elle est le fruit d'un travail progressif qui se constitue en même temps qu'évolue l'image des sciences. Elle finira après cette période par s'établir au sein d'une conception de la science que nous désignons par classique avec l'avènement du modèle newtonien.

Cette présentation historique est orientée par les questions que nous nous posons sur le plan de la didactique. Pour ce faire, nous présentons un cadre épistémologique relatif à ce thème scientifique en nous appuyant sur des travaux d'auteurs tels que Clavelin (1968), Kuhn (1972, 1990), Koyré (1985, 1986), Chareix (2001), Rovelli (2009) ou encore Brenner (2011). Il ne s'agit pas d'une étude exhaustive, mais de développer des axes de lecture en lien avec les objectifs de la séquence qui sont l'interaction entre observation et théorie, la séparation des registres scientifiques et religieux et les critères de choix.

2.1 L'élaboration de la conception dite classique de la science

Étant donné que des arguments mis en jeu dans la controverse ptoléméo-copernicienne sont pour partie de nature épistémologique, nous présentons ci-dessous quelques éléments sur les conceptions à cette époque pour mieux comprendre l'idée des sciences qui s'est progressivement façonnée.

Historiquement, en Grèce vers le VI^e siècle avant J.-C., dans les cités d'Ionie, les philosophes et astronomes grecs proposèrent les premières tentatives d'explication de l'univers, en essayant de dépasser les explications mythiques et magiques. C'est le commencement des disciplines philosophique et scientifique. Elles étaient étroitement attachées, presque indifférenciées étant donné que les premiers philosophes se nommaient « *physiciens* », c'est-à-dire scrutateurs de la nature, *physis* chez les Grecs. À cette époque-là, pouvons-nous parler de naissance des sciences ? Lloyd (1991) défend l'idée que la science, au sens de discipline logique, est née en Grèce avec l'invention de la démonstration mathématique et la mise en forme systématisée des connaissances. Nous la retrouvons également, et de manière explicite, chez Gourinat (2002), qui présente Platon (v. 427-v. 347 av. J.-C.) comme l'inventeur de la science et qui met en évidence la dimension démonstrative de la science chez Aristote (384-322 av. J.-C.). Ce que Lecourt (2001) annonce comme une première forme de méthode et surtout d'interrogation en lieu et place d'une explication toute faite (cosmogonie). Pourtant, si la Grèce peut être considérée comme le véritable berceau de la science, comment les dialogues philosophiques de Platon et les traités d'Aristote ont-ils posé les fondements de notre conception de la démarche scientifique ?

2.1.1 Platon (v. 427-v. 347 av. J.-C.)

2.1.1.1 Une préparation au fondement platonicien

Selon Vernant (1962), la science présocratique commence par un regard direct sur la nature, car finalement « *chez les "physiciens" d'Ionie la positivité a d'emblée envahi la totalité de l'être. Rien n'existe qui ne soit nature, physis.* » Les présocratiques constituent une étape importante de la philosophie grecque par la modernité de leur attitude scientifique. Les Dieux ont entièrement disparu des explications qu'ils proposent. Ils s'appuient sur les observations accumulées par les Babyloniens et les Égyptiens, et ils s'efforcent de ramener la pluralité des phénomènes physiques à un principe premier : pour Thalès (v. 625-v. 547 av. J.-C.), c'est l'eau ; pour Anaximène (v. 585-v. 525 av. J.-C.), il s'agit de l'air ; pour Xénophane (fin du VI^e siècle av. J.-C.), de la terre, et pour Héraclite (v. 550-v. 480 av. J.-C.), du feu. La pensée

présocratique résulte ainsi d'une démarche plus empirique construite sur la base d'observations de la nature.

Pourtant si ces théories expliquent les phénomènes naturels en n'ayant recours qu'à des causes naturelles, nous nous interrogeons sur le choix arbitraire de privilégier une apparence sensible, par exemple, celle de l'eau, plutôt qu'une autre. D'après le physicien Rovelli²⁷ (2009), Anaximandre (v. 610-v. 547 av. J.-C.), disciple de Thalès, opère un saut décisif dans l'abstraction par sa conception d'un principe indéterminé. Pour lui, la Terre « flotte » dans le ciel. Elle est fixe dans un espace indifférencié et sans limites. En outre, celui-ci n'est pas l'un de ces quatre éléments. Anaximandre utilise le terme d'*Apeiron* pour nommer cet espace, qui est en quelque sorte une substance éternelle et sans forme qui se transforme. L'intérêt de la théorie d'Anaximandre par rapport à celle de Thalès est d'aller au-delà des apparences sensibles, constituant ainsi un premier degré d'abstraction. Ici, les sciences portent sur le transcendant. En posant ce premier principe non matériel, Anaximandre préfigure le monde intelligible suprasensible de Platon. Cette approche de remise en question de l'image du monde de Thalès amène Rovelli à considérer Anaximandre comme l'un des pères de la pensée scientifique.

Comme Anaximandre, Pythagore (v. 570-v. 480 av. J.-C.) énonce un principe premier indéterminé qu'il explore dans les nombres. Les mathématiques sont considérées comme un principe organisateur de la réalité. Il nous met sur la voie d'une physique qui ne se construit pas que de façon systématique et qui laisse une grande place aux nombres, devançant ainsi une des aspirations les plus directes de Platon.

Ces premières théories présocratiques mettent fin aux explications surnaturelles. Cependant, cette physique n'a rien de commun ni dans son inspiration ni dans ses méthodes avec ce que nous appelons « science ». Les présocratiques ne sont pas parvenus à définir rationnellement le concept de science, au point de ne pas avoir rendu systématique le mot. L'enjeu va être de mettre en place une délimitation entre la science et l'opinion, qui passe chez Platon par une nouvelle épistémologie.

²⁷ ROVELLI C. (2009). Anaximandre de Milet, ou la naissance de la pensée scientifique, Dunod.

2.1.1.2 L'idée de science

L'idée de science est abordée chez Platon dans l'un de ses dialogues, le *Théétète*, où le personnage de Socrate (470-399 av. J.-C.) questionne le jeune mathématicien Théétète d'Athènes. Il le pousse à admettre les contradictions de l'opinion, du sensible et des apparences. Gourinat rappelle qu'une réponse (souvent oubliée) à la définition de la science se trouve dans la toute première réponse de Théétète qui est : « *Il me semble que les sciences, c'est ce qu'on peut apprendre chez Théodore, la géométrie et les autres sciences que tu as énumérées à l'instant, et qu'aussi la cordonnerie, ce n'est rien d'autre qu'une science, ainsi que les techniques des autres artisans, toutes ensemble, mais aussi chacune séparément*²⁸. » La science désigne donc d'abord chez les Grecs un savoir pratique lié à l'habileté manuelle qui s'apprend. À partir de ce critère, un artisan qui sait transmettre les procédés de son art détient un savoir. Cependant, Platon ridiculise cette réponse qui énumère des sciences et ne définit pas la science. Cette définition est trop large, car prise telle quelle, il est impossible de distinguer la science des autres formes de connaissance.

Platon s'efforce ainsi de distinguer la science de ce qu'elle n'est pas et de ce qui lui fait obstacle. Théétète propose trois définitions de la science sans qu'apparemment aucune réponse soit jugée satisfaisante par Socrate : la science comme sensation ; la science comme opinion droite ; enfin la science comme opinion droite accompagnée de raison (*logos*). Pour Platon, la science vise un savoir nécessaire et universel. Si la science est préférable à l'opinion vraie, c'est qu'elle-même est vraiment stable et ne risque pas d'être ébranlée à la première occasion. Elle s'oppose à la sensation, qui ne délivre que les apparences subjectives des choses. Or, dans les réponses de Théétète, il n'y a pas d'idée de lien stabilisant. Platon récuse la science comme « *une opinion vraie accompagnée de raison*²⁹ » : il lui manque son fondement rationnel. En effet, par quel moyen saisir cet objet stable ? Et en quoi un tel objet peut-il consister ?

Platon décrit le passage de l'opinion à la science dans le *Ménon* comme un passage de l'instable au stable, mais ce passage nécessite l'intervention d'une activité. Platon suppose que l'âme se remémore une vérité atteinte auparavant dans une vie

²⁸ *Théétète* (146 c-d).

²⁹ *Théétète* (201 c, 9).

antérieure. Dans une démarche réellement « *didactique* », Socrate interroge l'enfant esclave afin de lui faire découvrir la solution du problème de la duplication du carré. Il n'enseigne rien à son interlocuteur ignorant. Pourtant, ce dernier résout le problème en se remémorant ce savoir. Socrate connaît la méthode qui permet de mener une recherche correcte. Platon propose donc comme méthode la dialectique. Celle-ci permet la réminiscence. Les mathématiques sont utilisées comme modèle du type d'idéalité dont l'âme est censée se ressouvenir. C'est une épure permettant à l'esprit de s'éloigner du sensible concret pour approcher l'idée. Ainsi, Platon donne à la science un fondement exclusivement théorique de la réalité. Quel rapport existe-t-il entre ces réalités et les choses sensibles qu'elles rendent connaissables ?

Platon assimile ce rapport à celui qui est ordinairement admis entre l'original et la copie, ce que laisse supposer l'analogie de la ligne dans la *République*.

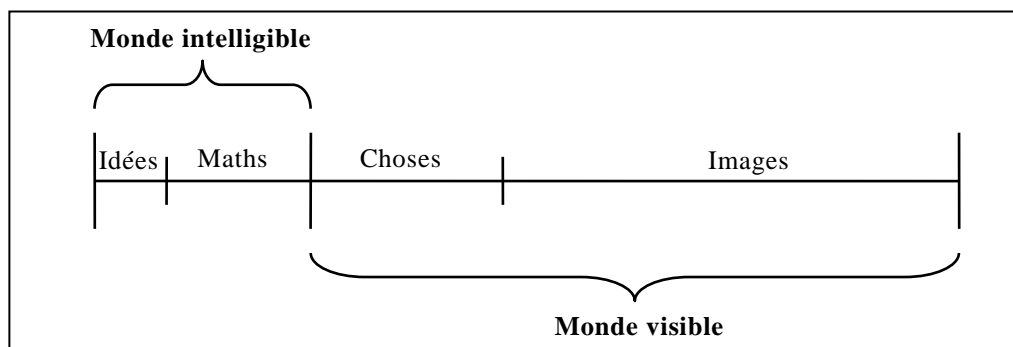


Figure 4 : analogie de la ligne (*République*, VI)

Platon établit la distinction entre deux mondes : le monde intelligible, autrement dit celui de l'Idée, et le monde sensible, c'est-à-dire celui des sens. Chaque segment correspond à un type d'objet et au type de connaissances qui s'y rapportent. Le monde sensible est en perpétuel changement et les sens ne livrent que les apparences relatives des choses.

« L'âme, quand elle est fixée sur ce qu'éclairent la vérité et l'être, pense et connaît, et elle paraît intelligente. Mais quand elle est tournée vers ce qui est mêlé d'obscurité, vers ce qui naît et périt, elle n'a que des opinions

et elle perd en perspicacité, changeant sans cesse d'opinion dans tous les sens, et elle ne semble plus avoir d'intelligence³⁰. »

L'essence nommée « *Idée* », du grec *idea* signifiant visible, est l'objet stable de la science. Ce sont les Idées qui recèlent la vérité du monde. Le processus de connaissance cherche donc à s'élever des choses sensibles aux objets mathématiques (Pythagore), puis des objets mathématiques aux Idées. Platon conçoit les mathématiques comme moyen d'accéder au monde idéal. Cette science prend une place propédeutique par rapport aux autres sciences, qui ne se soucient que du monde sensible.

L'analogie de la ligne permet de mieux comprendre l'allégorie de la caverne (*République*, VII). Cette allégorie illustre le passage dans les différents niveaux de la connaissance allant de l'illusion à la vérité, ainsi que l'approche philosophique qui autorise de s'élever de l'un à l'autre. Pourtant si Platon définit la science par l'accession aux formes intelligibles, pouvons-nous dire pour autant qu'il existe une séparation stricte entre l'expérience et la science physique ? Bien qu'il soit possible de partir de l'expérience sensible et de s'élever à la science par des raisonnements, la dialectique reste entièrement à l'écart de l'expérience, ce qui ne va pas sans poser de problème.

2.1.2 Aristote (384-322 av. J.-C.)

2.1.2.1 La critique de Platon

L'argumentation d'Aristote contre les idées de Platon se trouve parfaitement explicitée dans la *Métaphysique* (A, 9 et M, 4-5). Dans cet ouvrage, Aristote accepte certaines idées platoniciennes, comme celle d'un monde sensible en changement perpétuel ou bien celle de donner un objet stable à la science. Aristote admet comme Platon qu'« *il n'y a de science que de l'universel³¹* ». Rationaliste, il considère que la forme (l'Idée) est inscrite dans la matière, la connaissance se fait dans le monde

³⁰ *République*, VI, 508d.

³¹ *Métaphysique*, XIII, 10, 1086 b.

sublunaire sensible. Cependant, Aristote remet en cause la conception d'un monde en dehors du sensible : « *Quant à dire que les Idées sont des paradigmes [...], c'est prononcer des mots vides et faire des métaphores poétiques*³². »

Il distingue, en particulier, deux types de contradictions dans la pensée platonicienne, qui bloquent la possibilité même d'une physique. D'une part, si les Idées sont identiques au sensible, alors il n'existe pas de monde intelligible distinct. D'autre part, si elles sont séparées, nous ne pouvons pas comprendre les choses à partir des Idées, puisqu'elles ne sont pas en elles. Comme contre-argument, Aristote cite le « *troisième homme* » nécessaire pour comprendre le lien entre l'homme individuel et son Idée. Dans ces deux cas, la notion d'Idée semble inutile. Pour autant, la science des Idées ne serait-elle que l'Idée de la science ? Ce problème de séparation du sensible et de l'intelligible avait déjà été évoqué par Platon dans la première partie du *Parménide*. Il provoque un dédoublement inutile qui rend difficile la conception de la science. Comment rendre alors possible l'accès à la science sans tenir compte d'un monde des Idées, sans mobiliser un idéalisme objectif ?

2.1.2.2 Un nouveau type de science

La démarche d'Aristote se situe en décalage par rapport à la conception platonicienne imputant au sensible l'origine du devenir. Contrairement à celle de Platon, elle s'appuie davantage sur l'expérience : « *La théorie socratique est visiblement en désaccord avec les faits*³³. » Les idées sont essentielles pour établir la compréhension des choses ; cependant, il ne faut pas qu'elles soient établies hors des choses. L'essence n'est réelle que dans les phénomènes. Ainsi, au lieu de séparer deux réalités, Aristote cherche l'intelligible dans le sensible. Pour y accéder, « *il faut se fier aux expériences plus qu'aux théories et aux théories seulement dans la mesure où elles sont reconnues évidemment conformes aux faits*³⁴ ». L'immanence s'oppose à la transcendance. La science d'Aristote a pour objet le monde matériel concret, et ainsi la connaissance ne procède que par induction.

³² *Métaphysique*, A, 9, 991 a 21.

³³ *Éthique à Nicomaque*, VII, 31 145 b 25.

³⁴ *De la génération des animaux*, III, 10.

Pour autant, Aristote se distingue d'un empirisme, pour qui il suffirait de voir pour savoir. Il présente la science comme une connaissance de la cause³⁵. Il explique dans les *Seconds Analytiques* : « *Nous estimons posséder la science d'une chose de manière absolue [...] quand nous croyons que nous connaissons la cause par laquelle la chose est, que nous savons que cette cause est celle de la chose, et qu'en outre il n'est pas possible que la chose soit autre qu'elle n'est*³⁶. » Les faits sont pour lui des cas particuliers qui ne peuvent pas, à eux seuls, constituer une connaissance. Le savoir scientifique chez Aristote procède de la démonstration qui doit donner la cause au sens le plus fort du terme, autrement dit, une cause nécessaire. Elle s'oppose en cela à l'opinion.

Chez Aristote, l'essence est une réalité logique qui lui permet d'établir le rapport entre le particulier et le général. La logique concerne l'abstraction, elle établit des règles que la pensée scientifique doit respecter pour opérer des démonstrations valides. Sa forme essentielle se ramène au syllogisme, dont le but vise à connaître les formes de la pensée. Ces dernières déterminent s'il faut subordonner un concept singulier à un concept universel. Il en résulte qu'*il n'y a de science que du général*. Il est inutile, pour acquérir l'idée universelle, de rassembler des milliers d'expériences. L'existence particulière des choses fonde la vraie connaissance générale. En cela, Aristote pose les bases d'une connaissance systématique du monde.

Sur la base de la connaissance sensible, Aristote cherche à appliquer le syllogisme démonstratif dans tous les domaines du savoir. Ces sciences se définissent bien par une méthode commune, mais leurs objets sont différents. Il définit donc un certain nombre de catégories (sciences théoriques, pratiques ou poétiques) qui lui permettent de les rassembler. Parmi les sciences théoriques, Aristote situe à peu près sur le même plan la physique et les mathématiques. Cependant, l'objet de la physique s'oppose à celui des mathématiques, qui est obtenu par abstraction à partir du sensible. D'ailleurs, l'objet des mathématiques est immuable et nécessaire, ce qui le rend totalement différent de l'objet étudié par la physique : la connaissance de ce monde

³⁵ Aristote différencie 4 causes : finale (la principale chez Aristote), formelle, matérielle et efficiente (celle de la connaissance moderne)

³⁶ Aristote, *Seconds Analytiques*, trad. J. Tricot, 71 b 8-10.

sublunaire imparfait en mouvement. Comment alors Aristote réhabilite-t-il la physique ?

Aristote accorde bien à la physique un statut de science, mais sans pour autant lui donner la même valeur démonstrative que les mathématiques. Elle n'a pas le même degré de rigueur. Pour Aristote, la physique doit se restreindre à n'être qu'une science qualitative. En définissant ainsi la physique, Aristote redéfinit par là même le statut de la science. Son but n'est pas d'établir des causes nécessaires ni de mathématiser les phénomènes, il s'agit de réhabiliter la science ontologiquement. Sa conception de la physique est la recherche des principes et des causes premières, elle est en cela une partie intégrante des sciences théoriques. Aristote conserve finalement de Platon une approche nécessairement non mathématisée du sensible. La science physique d'Aristote laisse précisément hors de question ce qui fait l'essentiel de la science telle qu'elle se pratique aujourd'hui. Il ne s'agit plus désormais d'établir un rapport de causalité entre deux événements distincts, mais d'utiliser un rapport fonctionnel entre deux grandeurs d'un même phénomène. La conception des sciences d'Aristote déborde donc très largement la définition acceptée de nos jours. Elle couvre, en effet, l'ensemble des domaines de l'activité intellectuelle du monde à son époque, et serait de nos jours considérée comme plus proche d'une théorie générale de la connaissance.

2.1.3 Galilée (1564-1642)

Les méthodes et résultats scientifiques classiques apparaissent au XVII^e siècle grâce à l'accomplissement théorique de la position aristotélicienne, qui domine la pensée scientifique pendant à peu près deux mille ans. Aux vieilles méthodes du Moyen Âge fondées sur l'induction et la déduction, Galilée adjoint la vérification par l'expérience, en utilisant les instruments scientifiques nouvellement inventés tels que le pendule, le compas, la lunette astronomique, le thermomètre, le microscope, etc. La science physique moderne commence donc en 1632 avec Galilée, au moment où, dans le *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, il présuppose que la raison atteint la plus haute vérité dans les mathématiques.

2.1.3.1 *Le grand livre de l'Univers*

Les sciences de Galilée et d'Aristote se distinguent par la mathématisation du réel pour aboutir à la subordination de toutes les autres sciences aux mathématiques. Il soutient que les mathématiques ne sont plus extérieures au monde, mais en sont le soubassement. Ainsi, dès 1623, dans *L'Essayeur*, il soutient que « *le grand livre de l'Univers est écrit dans le langage des mathématiques. On ne peut comprendre ce livre que si on en apprend tout d'abord le langage, et l'alphabet dans lequel il est rédigé. Les caractères en sont les triangles et les cercles, ainsi que les autres figures géométriques sans lesquelles il est humainement impossible d'en déchiffrer le moindre mot.* » La science aristotélicienne était une science concrète de la nature, alors qu'avec Galilée, naît la science moderne qui deviendra une science abstraite. L'interdit méthodologique d'une mathématisation de la physique s'effondre avec l'identification de l'espace réel à l'espace de la géométrie euclidienne. Ce sont les mathématiques qui nous donnent la clé des faits observables, nous permettant de les reproduire, de les prévoir et de les quantifier. La vérité universelle se trouve dans le monde réel, et cette vérité est écrite en langage mathématique. Il devient maintenant possible d'essayer de décoder le grand livre de la nature, exprimé en langage mathématique et inscrit en signes géométriques.

Ce déchiffrement expérimental du langage mathématique exige une certaine capacité d'abstraction ou d'idéalisation. Ainsi, selon la thèse de Koyré, Galilée renoue avec la conception platonicienne de la science. La conséquence la plus visible de cette mathématisation du réel se retrouve dans le processus d'abstraction que réalise Galilée lorsqu'il transforme la chose de l'expérience sensible en objet de la pensée. Cette appartenance se retrouve dans sa théorie des qualités premières de la matière et les qualités secondes dans *L'Essayeur*. Les qualités qui existent indépendamment de notre expérience sont les qualités premières comme : forme, grandeur, localisation, mouvement, nombre. Par opposition, les qualités secondes sont celles qui n'existent pas indépendamment de notre expérience, c'est-à-dire les objets immédiats des sens : couleurs, goûts, sons, odeurs, touchers. En d'autres termes, la science galiléenne postule que, pour comprendre la nature, il faut aller au-delà de ses apparences. L'existence de ces qualités secondes permet une dichotomie entre le monde tel qu'il est objectivement (l'objet véritable de la physique) et le monde tel qu'il nous apparaît

(son image manifeste). Il n'est pas sûr pour autant que l'universel des idéalités mathématiques amène à comprendre la particularité du monde empirique. Comment être sûr que la vérité pourra être atteinte ? Qu'est-ce qui nous permet de comprendre cette réalité physique ?

2.1.3.2 Naissance de la méthode expérimentale scientifique

Au premier coup d'œil, dans le monde réel aucun corps ne se comporte en suivant exactement le principe d'inertie ou la loi de la chute des corps, et ce, à cause des frottements solides ou de l'action de l'air. Galilée se fonde sur cette science non intuitive toutefois suffisante pour représenter avec exactitude le monde à notre échelle, et laisser comme des phénomènes accessoires ou négligeables ce qui, selon Aristote, n'aurait pu établir qu'une réfutation évidente. Pour ce faire, comme l'affirme Kant dans la préface à la seconde édition de la *Critique de la raison pure*, il ne suffit plus d'observer la nature comme le faisaient les aristotéliens ; au contraire, il faut la tester, la questionner par l'expérimentation et l'utilisation systématique des mathématiques. Pour simplifier, Bacon thématise ce questionnement de la nature, mais il manque la dimension mathématique.

Bien qu'il soit probable que Galilée n'ait jamais fait l'expérience de la chute des corps depuis la tour de Pise, les historiens s'accordent à dire que Galilée a bien conçu et mis au point l'expérience du plan incliné en 1604. Cette approximation conceptuelle lui permet d'étudier la chute libre, difficile à observer, « *au ralenti* ». L'inclinaison du plan lui permet expérimentalement d'augmenter la durée d'une chute, et par conséquent d'augmenter la précision des mesures au chronomètre. Il mesure la durée nécessaire à une boule, lâchée sans vitesse initiale, pour parcourir différentes distances. Les résultats expérimentaux qu'il obtient lui permettent de conclure que la vitesse acquise par le corps est proportionnelle à la durée de la chute, la distance parcourue étant proportionnelle à son carré. Il montre alors qu'Aristote était dans l'erreur, car, dans ces conditions, tous les corps de même forme ont approximativement le même mouvement indépendamment de leur masse. Ce n'est donc pas une propriété de la matière puisqu'elle dépend des conditions extérieures. Cependant, cette expérimentation était extrêmement rudimentaire et les conditions de la vérification étaient très aléatoires. Galilée avait conscience de la relativité de ses

expériences, mais il lui suffisait que l'expérience aille dans le même sens que la raison. Il en a donc décrit des versions où les conditions expérimentales auraient été, selon lui, idéales.

Koyré considère *l'expérience a priori* souvent utilisée par Galilée : « *La manière dont Galilée conçoit une méthode scientifique correcte implique une prédominance de la raison sur la simple expérience, la substitution de modèles idéaux (mathématiques) à une réalité empiriquement connue, la primauté de la théorie sur les faits.* » (Koyré, 1985, p. 83). Il donne à Galilée une position déductiviste par rapport à l'expérience, ce qui lui confère nettement moins d'importance que dans la vision de Drake (1987). Ce dernier voit plutôt une position inductiviste, où l'expérience tient un rôle décisif dans le sens où Galilée a eu besoin de l'expérience pour inférer sa théorie. Koyré a néanmoins exagéré le côté platonicien de Galilée. Selon Drake, Galilée est plus expérimentateur que Koyré l'a affirmé, mais cette conception de l'expérience induit clairement un primat de la théorie et de l'approche déductive sur l'approche inductive.

L'expérimentation chez Galilée fonctionne donc à la manière de la démonstration en mathématiques : l'expérience permet de tester la théorie. Ce passage de l'observation à l'expérimentation guidée par une théorie mathématique est primordial. Il s'ensuit que le discours de la nature, « *découvert* » par le savant, est constamment le produit de deux élaborations : celle d'une théorie mathématique, dans laquelle les phénomènes peuvent parler leur vraie langue, et celle d'un dispositif expérimental, qui servira d'interface entre la nature et la théorie. Ainsi, selon Auroux (1990), la science présente trois particularités principales chez Galilée : « *La mathématisation, un type de liaison forte entre les propositions théoriques et le réel dont elles sont nécessairement les représentations ; enfin, un mode de connexion privilégié entre les hypothèses contrôlées et la formulation de nouvelles hypothèses.* ». Les mathématiques ne sont pas importantes uniquement pour tester efficacement les théories. La physique de Galilée se distingue de celle du monde sublunaire d'Aristote, non pas par l'utilisation des mathématiques, mais parce que les théories aristotéliennes ne sont pas testables. Elles ne peuvent être réfutées par la confrontation à la réalité tant leurs propositions sont interprétables à loisir. Elles n'ont pas suffisamment de rapport à la réalité.

2.1.3.3 *L'usage des instruments*

La conséquence de cette nouvelle conception de la physique est la part devenue prédominante des instruments scientifiques. Galilée a ainsi inventé ou perfectionné de nouveaux instruments propres à l'observation et à la mesure. Connu pour la reconstruction d'une lunette astronomique dont nous reparlerons plus tard, nous devons aussi lui attribuer l'invention du thermomètre en 1597. Il s'agissait d'un long tube de verre avec une ampoule à son extrémité, que nous renversons dans une cuve remplie d'eau ou de vin. L'observation du niveau du liquide dans le tube permet de déterminer les variations de température. La pression de l'air demeurant à l'intérieur varie avec la température, ce qui a pour conséquence d'élever ou d'abaisser le niveau du liquide dans le tube. Cependant, le fait que le tube se trouve dans une cuve ouverte rend l'instrument sensible à la pression atmosphérique. Il ne s'agissait encore que d'un thermoscope indiquant non seulement les variations de la température, mais également celles de la pression. Pour autant, ce thermoscope constitue un exemple significatif de l'application d'un phénomène physique à la mesure de l'intensité d'une cause. L'impression de température est remplacée ici par une mesure fondée sur la dilatation de l'air. Comme l'écrit Bachelard, « *les instruments ne sont que des théories matérialisées. Il en sort des phénomènes qui portent de toute part la marque théorique* » (Bachelard, 1934, rééd. 1966, p. 12). En plus, cela montre que la physique de Galilée exige d'abord l'exclusion de la subjectivité sensible. L'attitude scientifique se révèle ainsi comme une rupture avec le monde sensible. Comme le note encore Bachelard, « *la science contemporaine s'est entièrement dégagée de la préhistoire des données sensibles. Elle pense avec ses appareils, non pas avec les organes des sens.* » (Bachelard, 1951, p. 96). Cette construction théorique devient objective puisqu'elle se vérifie et se prête à des applications pratiques. Mais précisément, cette objectivité, conquise contre les illusions subjectives propres aux données brutes des sens, n'est atteinte que par la nécessaire utilisation de l'outil dans une telle physique.

La science expérimentale est rendue possible par la mathématisation et qui culminera dans l'œuvre d'Isaac Newton (1642-1727). Elle permet d'amener un glissement de

sens de la science vue comme générale et théorique vers une réalité qui suppose donc à la fois des théories et des instruments.

2.1.4 Conclusion à la science dite classique

Il n'est pas utile de continuer plus loin un tel panorama pour se rendre compte que la science, étant par définition tributaire des hommes qui la construisent, s'élabore sur un arrière-plan interprétatif. Il est nécessaire, pour se faire une idée la plus objective possible de ce qu'est la science, de mettre au jour cet arrière-fond et de préciser à quels niveaux il intervient dans l'avancement des sciences.

Ce registre interprétatif s'articule autour de deux acceptions, deux niveaux d'analyse, selon un point de vue plus sociologique pour Kuhn ou un point de vue plus psychologique pour Bachelard. Le premier niveau renvoie au concept de « *paradigme* » de Kuhn dans le sens où l'ensemble des valeurs, des données, des méthodes, des manières de voir le monde que partage une communauté scientifique, sert d'explication aux phénomènes en régime de science normale, autrement dit en dehors des périodes de révolution scientifique. Cependant, ce paradigme est contaminé par des valeurs qui sont de l'ordre de la croyance. Ainsi, pour Kuhn, la démarche scientifique doit être conçue comme interne à chaque ensemble de connaissances d'une époque scientifique.

Dans le second sens, ce registre renvoie au caractère personnel des démarches du scientifique. Il implique des choix d'intention, d'idéologie et de méthodologie quant à sa façon personnelle d'observer la réalité. Selon Bachelard, le scientifique doit se détourner de l'expérience première, de la perception et des représentations communes, naïvement réalistes. Certaines conceptions ou certains présupposés peuvent être remis en question et contrés par de nouvelles théories. Bachelard affirme à ce propos : « *On connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites, en surmontant ce qui, dans l'esprit même, fait obstacle à la spiritualisation.* » (Bachelard, 1938, rééd. 1986 p.14). La science est donc un processus dialectique remettant en question des théories passées et éliminant des « *obstacles épistémologiques* », c'est-à-dire ce qui, dans la connaissance, bloque

l'accès à une connaissance première. Par conséquent, des découvertes inédites permettent toujours de contester les dogmes les mieux établis. L'activité du scientifique ne consiste pas à décrire le monde, mais bien plutôt à reconstruire celui-ci ; c'est pourquoi il existe des théories concurrentes.

D'un autre côté, la théorie elle-même influence le scientifique dans son idée de la réalité. Ainsi Hanson (1958, trad. fr. 2001, p. 6-16) compare respectivement ce que diraient Brahé, adepte du géohéliocentrisme, et Kepler, adepte de l'héliocentrisme, quand ils regardent l'un et l'autre le Soleil. Étant données, les différences entre le contenu de leurs croyances cosmologiques propres, Kepler et Brahé rendraient compte différemment de leur expérience visuelle. Hanson en déduit qu'en regardant le Soleil : les deux savants ne voient pas la même chose. Selon lui, l'un voit un objet qui se déplace autour de la Terre, tandis que l'autre voit un astre fixe au centre du système solaire. Cet exemple pose donc la question de l'observation et met en avant l'influence d'un arrière-fond herméneutique. Existe-t-il des faits bruts ou ceux-ci sont-ils imprégnés de théorie ?

Dès lors, la question des présupposés qui fondent la pratique scientifique reste posée. Nous pouvons nous demander quelle position est prise par le scientifique quant à sa façon d'observer la réalité. N'est-elle pas justement liée à ses propres valeurs, ses croyances et ses hypothèses ? Ou bien ne pouvons-nous pas penser qu'elle s'appuie sur ses préférences de théories, de modèles ? Ou bien n'est-ce pas plutôt le paradigme dont il est porteur qui oriente ses convictions ? Il s'agit donc d'un ensemble de présupposés ontologiques, épistémologiques et axiologiques qui oriente la pratique scientifique qu'il s'agit d'interroger. Nous ne pourrions répondre à une telle interrogation qu'au prix d'une réflexion sur l'essence même de la pratique scientifique à partir d'exemples de l'histoire des sciences dans un domaine particulier : les modèles cosmologiques.

2.2 Les conséquences cosmologiques

La perception de l'Univers s'est progressivement construite, entre dogmes, paradigmes et méfiances. Depuis sa naissance, la pensée scientifique grecque

demeure marquée par la question de la rationalité du monde. Platon est à l'origine de la première forme de géométrisation de l'astronomie. Le ciel présente depuis la Terre un désordre apparent dont il faut au sens propre, pour lui, « *sauver les phénomènes* », autrement dit, fournir un modèle qui permet de rendre compte des observations. Dans le *Timée*, Platon montre qu'il doit être possible de restituer au ciel la perfection des mouvements circulaires uniformes qui sont les seuls possibles, renvoyant dans leur forme même à l'idée grecque de perfection. Pour expliquer le fonctionnement de l'ensemble de l'Univers et de ses transformations progressives, Platon évoque un « *démiurge* », créateur de l'Univers. Dans leur recherche d'un dessein rationnel, les philosophes grecs atteignent, en fait, un niveau plus élevé qui s'interprète par l'idée que comprendre la nature, c'est comprendre la raison divine. Depuis lors, son origine rationnelle leur garantit la rationalité du monde. Pourtant les Grecs ont imprimé dans les esprits durant deux millénaires une idée fautive de la représentation du monde. Ils ont considéré l'espace comme une entité fixe et centrée sur la Terre. Les pythagoriciens présupposaient déjà l'idée d'une Terre sphérique selon une intuition qui ne se fondait pas sur l'observation, mais sur des principes d'harmonie et de simplicité. Le premier degré, singulièrement marqué par la conception aristotélicienne, a connu son summum avec les travaux astronomiques de Ptolémée. Seulement, sur quelle justification ce modèle géocentrique, si complexe, voire incompréhensible à qui ne suit pas ses évolutions successives dans le temps, repose-t-il ?

2.2.1 Le modèle aristotélicien et la victoire d'une modélisation

2.2.1.1 Le modèle d'Aristote (384-322 av. J.-C.)

Le *Traité du ciel* présente le système du monde géocentrique tel que le concevait Aristote. Pour lui, il existe une séparation absolue entre deux mondes : le monde d'en bas, sublunaire (en dessous de la Lune), et le monde céleste, supralunaire (au-dessus de la Lune). Au centre du monde sublunaire se trouve la Terre qui, de ce fait, est immobile, comme dans le système pythagoricien. L'argument avancé par Aristote est basé sur le fait que si la Terre était en mouvement, nous devrions en ressentir directement les effets. Il justifie la place de la Terre au centre de l'Univers, d'abord,

parce qu'il s'agit de la première des sphères, la plus lourde, et parce qu'ensuite elle explique comment se déplacent les corps. Ces mouvements imparfaits des corps se réfèrent eux-mêmes à deux catégories différentes. Ceux dits « *naturels* », qui sont les mouvements d'un corps d'une nature définie (terre, air, feu, eau) atteignant le lieu qui lui est propre. De la sorte, le « *lieu naturel* » de l'élément feu est le « *haut* » et celui de la terre, le « *bas* ». C'est le but ou la finalité du mouvement naturel d'atteindre ainsi l'état de repos, qui a donc en ce sens une valeur bien supérieure à celle du mouvement. D'autre part, lorsqu'un corps est forcé à aller vers un endroit qui n'est pas sa place naturelle, à l'image d'un caillou en l'air, ces mouvements sont appelés « *violents* ».

Au contraire, le monde céleste est constitué d'astres doués d'une essence éternelle et immuable. La Terre est entourée par la Lune, le Soleil et cinq autres planètes (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne) qui appartiennent à des sphères de cristal concentriques. Ces astres sont animés d'un mouvement circulaire, un « *mouvement parfait* » qui correspond à leur dignité ontologique supérieure. La sphère des étoiles fixes se trouve au-delà de ces sphères. La limite même de l'Univers est établie par la sphère du divin.

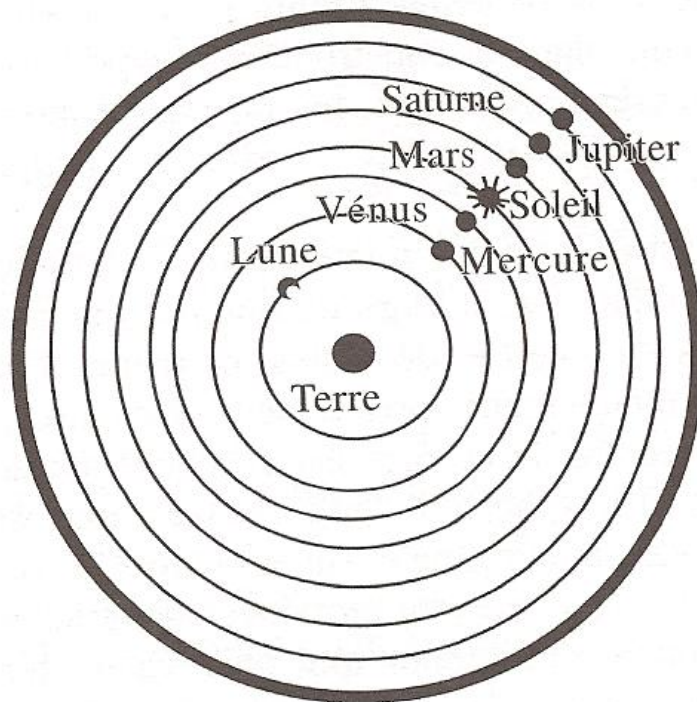


Figure 5 : modèle géocentrique du système solaire d'Aristote (Chareix, 2001, p.15)

Ces deux mondes sont donc diamétralement opposés puisqu'ils sont soumis à des lois totalement différentes. L'un reste soumis à des lois physiques qualitatives, alors que l'autre est au contraire mathématisable. Ainsi, selon Kuhn, la physique aristotélicienne ne peut être déchiffrée, appréhendée et évaluée que sous trois de ses aspects : ontologique de ces deux régions : sublunaire et supralunaire ; gnoséologique du manque de lois explicatives conformes pour le sublunaire ; et méthodologique de l'induction sur la réalité immédiate et l'observation (très différente de l'expérimentation).

Or, une des difficultés de l'astronomie grecque est de reproduire les mouvements apparents de chaque planète permettant de prendre en compte à la fois les irrégularités des mouvements et les variations de luminosité. Dans le modèle d'Eudoxe de Cnide (v. 400-355 av. J.-C.), toutes les planètes étaient ainsi intégrées à un ensemble de quatre sphères dont les mouvements se superposaient. Le fait d'unir les différentes rotations attribuait à toutes les planètes un mouvement compliqué, mais qui restait semblable à celui que nous observons dans le ciel.

En fait, Aristote cherche à expliquer comment les sphères communiquent leur mouvement les unes aux autres. Il présuppose que ce sont les « *orbes* » sur lesquels sont fixés les astres : chaque planète est attachée à une sphère, elle-même associée à une sphère, et de cette manière jusqu'à une dernière sphère en rotation avec la sphère céleste. Le mouvement des astres est donné par le *Premier Moteur* qu'Aristote localise sur la sphère enveloppant le monde, celle des étoiles fixes. Le *Premier Moteur* fait tourner cette sphère, le mouvement se transmettant de proche en proche aux autres sphères. Pour Aristote, le vide n'existe pas. S'il existait, un corps qui serait poussé ne rencontrerait aucun obstacle et acquerrait donc une vitesse infinie. Aristote ajoute donc aux quatre éléments d'Empédocle un cinquième élément : la quintessence (5^e essence). Cette substance exclusive du ciel et des astres est l'éther. Toutes les sphères tournent régulièrement autour de la Terre. Toutefois, chaque sphère possède un axe de rotation, une vitesse et une direction qui lui sont propres. Aristote combine ainsi une forme définitive, plus complexe que celle d'Eudoxe de Cnide, dans laquelle le nombre total des sphères est de 56. Il donne une consistance physique aux cercles géométriques : les sphères deviennent matérielles.

Le monde (cosmos) semble donc un ensemble clos et fini de sphères hétérogènes imbriquées. Pour Aristote comme pour la majorité des philosophes grecs, l'infini demeure une représentation négative du monde céleste. Ce qui est parfait, achevé, n'est que nécessairement fini. L'infini est l'illimité, autrement dit sans fin, sans détermination, il ne peut pas être parcouru. Aristote affirme donc dans le *Traité du ciel* :

« ... Il est manifeste que nulle masse corporelle ne se trouve hors du ciel ni ne peut y naître. La totalité du monde est composée de toute la matière qui lui est propre... Il en découle qu'actuellement il n'existe pas de cieux multiples, qu'il n'y en a jamais eu et qu'il n'y en aura jamais ; notre ciel est, au contraire, un, unique et parfait. En même temps, il est clair qu'il n'y a ni lieu ni vide hors du ciel. Le vide est, d'après la définition vulgaire, l'endroit où il n'y a pas de corps, mais où il peut en exister un³⁷. » (Kuhn, 1973, p. 90).

Cette théorie cosmologique a néanmoins un défaut majeur, parce qu'elle n'explique pas les variations de luminosité apparente des planètes, en particulier Mars et Vénus. En outre, elle ne justifie pas les fluctuations du mouvement du Soleil et du diamètre apparent de la Lune. En conséquence, ce système attribue au Soleil, aux planètes et à la Lune des distances fixes par rapport à la Terre. Pour cette raison, Ptolémée modifiera ce système au II^e siècle après Jésus-Christ, mais sans remettre en question les fondements établis par Platon et Aristote.

2.2.1.2 Le système de Ptolémée (v. 100-v. 170)

Dans son ouvrage principal l'*Almageste*, Ptolémée décrit un système différent de la théorie des sphères homocentriques. Ptolémée conserve le postulat d'une Terre immobile, située au centre de l'Univers, mais les planètes ne sont plus liées à des sphères propres dont le centre est la Terre. La théorie des épicycles et excentriques devient la base de cette astronomie antique. Ptolémée aurait emprunté les résultats de ses prédécesseurs pour rédiger sa propre théorie géocentrique. Apollonius de Perga a très probablement été le premier à utiliser les épicycles et les excentriques pour les mouvements du Soleil, de la Lune et des planètes. Ptolémée cite en particulier les

³⁷ Aristote, cité par Thomas S. Kuhn dans *La Révolution copernicienne*, Paris, Fayard, 1973, p. 90.

travaux de l'astronome Hipparque (v. 190-120 av. J.-C.) sur l'excentricité des trajectoires apparentes de la Lune et du Soleil par rapport à la Terre.

Dans le modèle à épicycles, les planètes ne sont plus à distance fixe de la Terre, ce qui lui confère sa supériorité par rapport au système des sphères homocentriques. L'astre tourne à vitesse constante sur l'épicycle (du grec *épi* qui signifie « sur », et *kuklos* : « cercle »). Le centre de ce dernier se déplace lui-même également à vitesse constante sur un cercle déférent (« porter » en latin). Il permet en particulier de rendre compte du mouvement rétrograde des planètes. En plus, en combinant des mouvements circulaires et uniformes, il reste conforme aux hypothèses de Platon.

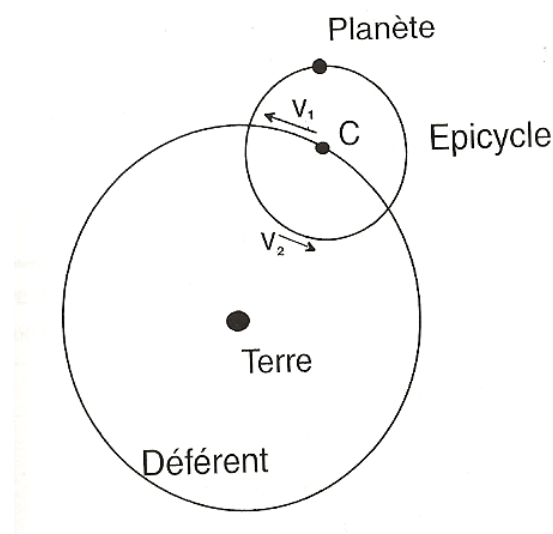


Figure 6 : modèle à épicycles (Simaan et Fontaine, 1999, p.33)

Néanmoins, ce système présente une particularité qu'on n'observe pas dans la réalité, puisque les arcs de rétrogradation sont toujours identiques, quelle que soit la région du ciel. Ainsi, dans le modèle à excentrique, le cercle déférent n'est pas centré sur la Terre, mais est décalé de telle manière que la distance entre l'épicycle et la Terre puisse varier. Ces mouvements peuvent être de deux ordres : à excentrique fixe (appliqué au soleil) ou mobile (aux planètes).

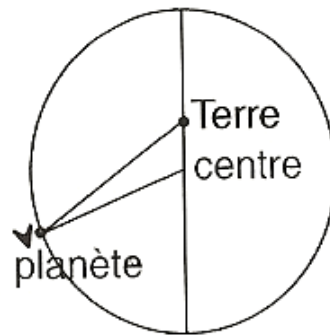


Figure 7 : excentrique fixe (Simaan et Fontaine, 1999, p.41)

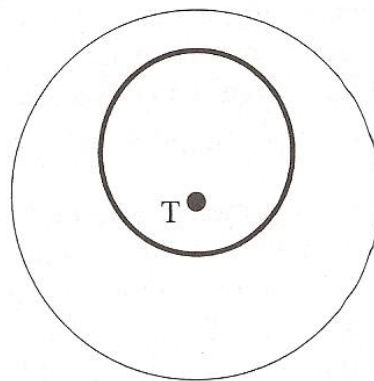


Figure 8 : excentrique mobile (Chareix, 2001, p.22)

Dans le cas de l'excentrique fixe, le centre est fixe par rapport à la Terre. Avec ce modèle, Hipparque est parvenu à prédire clairement la position du Soleil par rapport aux étoiles. Dans l'excentrique mobile, le centre se déplace sur une sphère qui est elle-même en révolution autour de la Terre. Vue depuis la Terre, la planète paraît accélérer et ralentir et peut même revenir en arrière.

Toutefois pour concorder avec les apparences, Ptolémée doit enrichir le modèle initial afin de reproduire avec encore plus de précision les mouvements apparents des corps célestes. La « tricherie géniale » (Verdet, 1998, p. 63) de Ptolémée consiste à introduire un point équant (c'est-à-dire qui rend constante la vitesse). Le centre de l'épicycle ne parcourt pas le déférent à vitesse uniforme. Le mouvement de l'épicycle semble plutôt uniforme par rapport à un autre point appelé équant. La Terre reste excentrique par rapport au déférent, disposée symétriquement par rapport à l'équant. En combinant la taille et la position de tous les cercles concernés, il semble capable de décrire les variations d'éclat des planètes, car, désormais, les distances des planètes par rapport à la Terre varient.

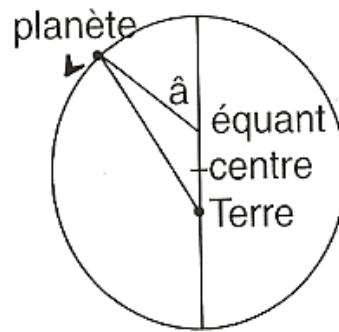


Figure 9 : le point équant (Simaan et Fontaine, 1999, p.41)

Pour autant, l'introduction de ce point équant transgresse la doctrine de la cosmologie aristotélicienne. Effectivement, la position de la Terre ne correspond pas au centre de la sphère ni au centre de rotation puisque les sphères ne tournent pas d'une manière uniforme. Ptolémée écrit alors : « *Il faut, du mieux que l'on peut, adapter les hypothèses les plus simples aux mouvements célestes ; mais si elles ne suffisent pas, il faut en prendre d'autres qui conviennent mieux.* » (Duhem, 2003, p.28). Au lieu d'affronter les faits dans la recherche de la vérité, Ptolémée transpose les hypothèses, sans les remettre en cause complètement.

Duhem décrit cette conception de la science comme la construction d'une hypothèse ayant pour but de rendre compte des apparences et de prévoir. Il n'était pas admis que le monde fût tel que la science le représente. Selon lui, l'astrologue et l'astronome ne sont pas encore dissociés. Quels que soient les présupposés métaphysiques de Ptolémée, des connaissances sont effectivement produites. Finalement, bien que ce système géocentrique de Ptolémée présente quelques imprécisions, par exemple, sur la position du Soleil ou sur la taille de la Lune, il durera jusqu'au XVI^e siècle.

2.2.2 La chute du modèle : vers un nouveau paradigme théorique

Pendant tout le Moyen Âge, jusqu'à Nicolas Copernic (1473-1543), à quelques exceptions près, la Terre est considérée comme le centre unique des mouvements célestes. Ce centre est « *physique* » et non géométrique, car, comme le remarquait Ptolémée, le centre mathématique des révolutions des planètes telles que Mars ne coïncide pas avec le centre de la Terre. Cette vision géocentrique de l'Univers a néanmoins été progressivement remise en cause. D'une part, Buridan (vers 1300 —

après 1358) a développé un concept de l'inertie et de la gravité pour le mouvement uniformément accéléré bien qu'il conserve certains éléments téléologiques de la physique aristotélicienne. D'autre part, Nicole Oresme (v. 1325-1382), précurseur de la géométrie analytique, a découvert la loi du mouvement rectiligne uniformément accéléré et soutenu l'hypothèse de la rotation de la Terre. Enfin, Nicolas de Cues (1401-1464), avec la doctrine de la « *coïncidence des opposés* », a remis en question le concept aristotélicien de non-contradiction et développé l'idée que la Terre puisse être en mouvement. En fait, il semble que Copernic doive à Nicolas de Cues son hypothèse selon laquelle une sphère située dans le vide commencerait à tourner sans avoir besoin de rien pour se déplacer. En dépit de ces quelques exemples, le système de pensée médiéval reste bloqué par le panthéisme.

Bien que l'héliocentrisme ne fût pas à proprement parler une nouvelle théorie de l'Univers, il n'avait jamais été vraiment accepté par les astronomes. Il serait resté à l'état d'idée si Copernic n'avait pas publié sa conception héliocentrique dans un traité sur la révolution des corps célestes, intitulé *De revolutionibus orbium coelestium* (1543), qui rompait totalement avec le système Ptoléméen. Pour la première fois, l'héliocentrisme est posé non pas comme une pure spéculation, mais comme le seul vrai système d'organisation de l'Univers. Cette théorie est construite sur une base solide de logique et de mathématiques pythagoriciennes rendant compte des principaux phénomènes astronomiques connus à l'époque.

À l'origine de son raisonnement, Copernic cherche à simplifier les calculs astronomiques tout en conciliant l'idéal platonicien et l'assemblage des sphères célestes. Copernic avait par ailleurs dédié son ouvrage *De revolutionibus* au pape Paul III, dans l'espoir que l'Église reconnaîtrait la nécessité de réinterpréter les Écritures à la lumière de cette nouvelle astronomie. Son système est alors fondé sur trois principes : chaque mouvement reste circulaire, le mouvement circulaire est parfait et les mathématiques sont utilisées pour trouver des modèles plus simples conceptuellement qui expliquent les phénomènes. Copernic place le Soleil au centre, car il considère irrationnel qu'une masse aussi grosse que le Soleil se déplace autour d'une masse si petite que la Terre. Cette position reste ainsi conforme à la conception néoplatonicienne de la lumière : « *Et au milieu de tous repose le Soleil. En effet, dans ce temple splendide, qui donc poserait ce lumineux en un lieu autre et meilleur, que*

celui d'où il peut éclairer tout à la fois ? Or, en vérité, ce n'est pas improprement que certains l'ont appelé la prunelle du monde, d'autres Esprit du monde, d'autres enfin, son recteur. Trismégiste l'appelle Dieu visible, l'Electra de Sophocle, l'Omnivoyant c'est ainsi, en effet, que le Soleil, comme reposant sur le trône royal, gouverne la famille des astres qui l'entourent. » (Kuhn, 1973, p. 151).

Dans son système, les planètes et la Terre tournent régulièrement sur des sphères circulaires centrées sur le Soleil, excepté la Lune, qui est en révolution autour de la Terre. La Terre tourne sur elle-même, ce qui explique l'alternance des jours et des nuits. Nous retrouvons ici l'idée de double mouvement que proposait Ptolémée avec ses épicycles, que Copernic modifie. De plus, Copernic présente une relation simple entre les distances des planètes par rapport au Soleil et la période de leur révolution. En effet, il contredit Ptolémée en affirmant que, plus l'orbite d'une planète est grande, plus il lui faudra de temps pour faire une révolution complète autour du Soleil.

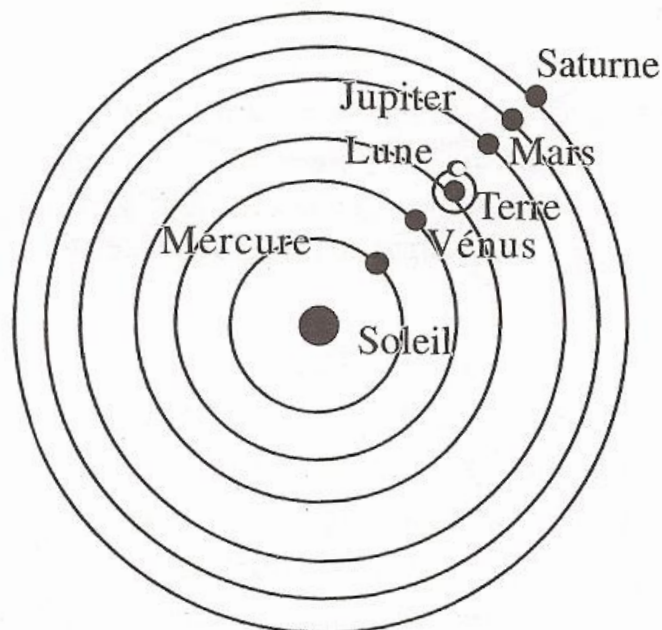


Figure 10 : modèle héliocentrique du système solaire de Copernic (Chareix, 2001, p.26)

Ce modèle semble bien reçu, car il demeure plus précis et permet des tables plus fiables. Toutefois, Copernic a continué à utiliser les méthodes grecques pour expliquer certaines petites irrégularités récemment découvertes. De ce fait, la Terre est placée sur une sphère légèrement excentrique par rapport au Soleil. Les planètes

ont toujours des épicycles, sans pour autant avoir de point équiant. Il revient donc à un principe de l'astronomie aristotélécienne : les mouvements sont circulaires uniformes. Pourtant, à la différence du modèle géocentrique, le mouvement apparent de la Lune, du Soleil et des astres semble désormais justifié par la rotation diurne de la Terre. Les rétrogradations peuvent être expliquées par la révolution annuelle de la Terre autour du Soleil. Par ailleurs, en accordant à la Terre le mouvement et aux étoiles l'immobilité, Copernic doit repousser très loin la sphère des étoiles, car ces dernières apparaissent fixes les unes par rapport aux autres, malgré la rotation annuelle de la Terre autour du Soleil.

Copernic publia son ouvrage l'année de sa mort. Parmi les protestants, Rheticus défendait l'héliocentrisme, tandis que Luther et Melanchthon s'y opposaient vigoureusement. De même, l'Église catholique était partagée. Les évêques de Capoue et de Chelm encouragèrent pourtant Copernic à publier son ouvrage. Il ne s'attira pas les foudres de l'Église, qui défendait l'Univers géocentrique, car, comme le souhaitait Osiander, l'œuvre de Copernic fut reçue essentiellement comme un modèle mathématique et non comme une vérité scientifique. Nous lisons ainsi dans la préface anonyme d'Andreas Osiander au *De revolutionibus* de Copernic (1543) : « *C'est le propre de l'astronome de colliger, par une observation diligente et habile, l'histoire des mouvements célestes. Puis d'en [rechercher] les causes, ou bien — puisque d'aucune manière il ne peut en assigner de vraies — d'imaginer et d'inventer des hypothèses quelconques, à l'aide desquelles ces mouvements (aussi bien dans l'avenir que dans le passé) pourraient être exactement calculés conformément aux principes de la géométrie. Or, ces deux tâches, l'auteur les a remplies de façon excellente. Car, il n'est pas nécessaire que ces hypothèses soient vraies ou même vraisemblables ; une seule chose suffit : qu'elles offrent des calculs conformes aux observations.* » (Koyré, 1961, p. 38).

Le terme de « révolution copernicienne » est utilisé par Kant dans la *Critique de la raison pure* (1781) pour illustrer le changement radical de paradigme scientifique que propose l'astronome polonais. Pour autant, si révolution scientifique il y a, Copernic ne fait pas table rase du savoir des Anciens. Pour lui, l'Univers reste fini et il demeure attaché à l'idée des trajectoires circulaires des orbites célestes. Finalement, son traité explique bien les ralentissements, stations et rétrogradations apparents des

planètes, qui sont directement déductibles, dans son système, de la conjonction du mouvement de la Terre avec celui des autres révolutions planétaires. L'explication, incomparablement plus simple que dans les systèmes géocentriques (Ptolémée, Brahé), reste un argument de poids en faveur de Copernic. Ce dernier s'adressait essentiellement à quelques spécialistes, de sorte qu'il ne rencontra que des oppositions ponctuelles de la part des théologiens, les astronomes restant le plus souvent favorables à la thèse géocentrique.

2.2.3 Structuration définitive

Au XVI^e siècle, la Terre est toujours conçue comme immobile et la théorie du géocentrisme reste la règle universelle. En dehors de quelques mathématiciens comme Rheticus (1514-1576) ou d'intellectuels comme Giordano Bruno (1548-1600), personne n'a vraiment cherché à proposer un système s'appuyant sur la rotation diurne et annuelle de la Terre, contredisant ainsi le témoignage élémentaire des sens. Toutefois, l'idée anthropocentrique qui dominait au Moyen Âge commence à être de plus en plus critiquée. La théorie de Bruno, développée à partir du système de Copernic, propose que l'Univers forme un système de mondes infinis semblable au nôtre, chacun se déplaçant autour d'autres soleils. L'homme, comme la Terre, cesse d'être considéré comme le centre de l'Univers et le centre du monde. Bruno fut, pour cela, brûlé vif sur ordre de l'Inquisition. Certains astronomes développèrent ainsi à leur tour, un système intermédiaire entre le modèle géocentrique et le modèle héliocentrique, comme celui de Brahé.

2.2.3.1 Le système intermédiaire de Tycho Brahé (1546-1601)

Brahé appartenait à une famille de la noblesse danoise dont la fortune familiale lui permit de se consacrer entièrement à l'astronomie. Brahé développa des techniques d'observation à l'œil nu dont la qualité et la précision atteignirent des sommets alors inégalés. À Uraniborg, dans l'île de Hveen, plusieurs tourelles surmontées de galeries permettaient d'observer les astres dont il repérait la position au moyen de cercles gradués. Ces instruments furent sans cesse perfectionnés : le plus grand donnait la minute d'arc, soit une précision dix fois meilleure que celle des données dont disposait Copernic. Brahé fit même construire un observatoire souterrain,

Stjoerneborg, afin d'être à l'abri du vent et des vibrations. Ces réalisations lui permirent de découvrir l'effet de la réfraction atmosphérique sur les positions apparentes des astres et de noter des inégalités dans les mouvements de la Lune. Il a également dressé des tables de la position des planètes ainsi qu'un catalogue d'étoiles bien plus précis que celui de Ptolémée.

Par ses mesures et ses découvertes, Brahé contribua involontairement à la remise en cause de la dichotomie entre la Terre et le cosmos. En 1572, il vit apparaître de jour une nouvelle étoile brillante, une supernova, dans la constellation de Cassiopée pendant un mois. Cette étoile devait être bien au-delà des sphères planétaires, puisqu'elle ne changeait pas de position dans le ciel. Il conclut que cette étoile faisait bien partie de la sphère céleste, comme l'indique le titre de son premier livre publié en 1573 : *De Nova Stella*. La découverte de ce phénomène inattendu et temporaire dans la sphère céleste remet clairement en question l'axiome de l'immutabilité éternelle du monde supralunaire. Ainsi, Brahé pose des conclusions « réelles » au sujet des corps du monde, par exemple, le trajet des comètes ; il faut aussi admettre la possibilité d'une légère altération du Ciel, puisque nous voyons des novae apparaître. De la même manière, Brahé fit de nombreuses observations de comètes (1577, 1580, 1585, 1590, 1593, 1596). En particulier, Brahé montra que la grande comète de 1577 changeait de position par rapport aux étoiles lointaines. L'astronome danois la plaçait beaucoup plus près de la Terre que la supernova, mais au-delà de la Lune, puisque le mouvement de la comète était bien plus petit que celui de la Lune. Elle était certainement quelque part dans la zone des sphères planétaires, ce qui contredisait l'idée qui prévalait avant. De plus, son orbite était ovale et non circulaire. Elle devait donc traverser les sphères de cristal, ce qui contribuera à l'abandon du paradigme des sphères et cercles.

Brahé semble sans doute moins directement influencé par le système copernicien. Paul Wittich (1546-1586), un collègue de l'astronome, élabore un schéma d'un système héliocentrique hybride, géohéliocentrique, que Brahé lui-même développe dans son système. Il cherche un compromis et le combine avec l'ancien système de Ptolémée. Pour lui, les cinq planètes connues tournent autour du Soleil, l'ensemble faisant lui-même le tour de la Terre immobile chaque année. Son système demeure mathématiquement équivalent à celui de Copernic ; il maintient les équants, les

épicycles et les excentriques. En revanche, son principal défaut est la perte du rapport simple de la distance au Soleil et des durées des révolutions. Le système de Brahé rallie des théologiens comme les jésuites, alors que les aristotéliens continuent de s'y opposer.

Brahé déclare avoir prouvé la fausseté de la théorie héliocentrique de Copernic. En effet, si la Terre tourne autour du Soleil, les étoiles fixes doivent avoir une parallaxe. Or, ses observations ne lui permettent pas de constater ce phénomène, ce qui le pousse à rejeter le modèle de Copernic pour en proposer un autre. Dans le système tychonien, les planètes tournent autour du Soleil, et le Soleil autour de la Terre qui, elle, est immobile. Brahé a un autre argument d'observation pour rejeter le mouvement de la Terre. Il mesure le diamètre apparent des étoiles, et calcule que, si elles étaient aussi loin que Copernic l'affirme, elles devraient être plus grandes que l'orbite de la Terre autour du Soleil, ce qu'il juge inacceptable. En réalité, ses mesures sont surévaluées : la brillance des étoiles les fait apparaître plus grandes à l'œil nu. Il faudra attendre plusieurs siècles pour que des instruments optiques suffisamment précis pour mesurer ce phénomène soient mis au point.

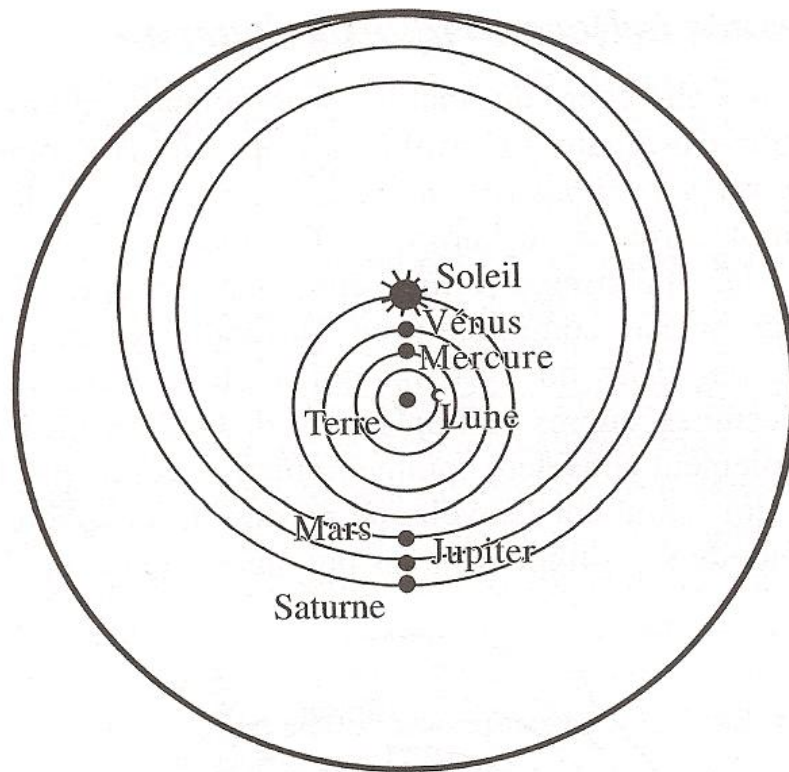


Figure 11 : modèle géohéliocentrique du système solaire de Brahé (Chareix, 2001, p.25)

Nous comprenons clairement que la plus grande précision des mesures de Brahé a été un obstacle dans l'élaboration du modèle héliocentrique. Ce sera au contraire un moteur pour Kepler avec l'orbe de Mars, non circulaire.

2.2.3.2 La simplification de Kepler (1571-1630)

Probablement l'un des plus grands disciples de Copernic, Johannes Kepler, né sept ans après l'italien Galilée, est un savant situé à la charnière de la révolution scientifique du XVII^e siècle. Copernic et lui étaient tous deux convaincus de l'exactitude factuelle du système héliocentrique. Kepler a, cependant, eu l'avantage d'avoir accès à des décennies d'observations de Brahé. Il pourrait avoir d'abord rencontré le travail de Copernic dans la bibliothèque de son maître, Michael Maestlin, qui a acquis un exemplaire du *De revolutionibus* en 1570 et l'a manifestement utilisé au moins en 1620, puisqu'il a été annoté en marge. Jusqu'au XVII^e siècle, le problème essentiel pour les astronomes était de construire un système capable de rendre compte du mouvement diurne de la voûte céleste et des mouvements du Soleil, de la Lune et des cinq planètes. Trois modèles ont été successivement proposés, le modèle géocentrique de Ptolémée, le modèle héliocentrique de Copernic et enfin le modèle mixte géohéliocentrique de Brahé. Sur les conseils de ce dernier, Kepler décide de s'appuyer sur les résultats des observations et de les confronter à la théorie, ou plutôt aux théories. Ce qui va le conduire à des conclusions inattendues dont ne peuvent rendre compte ces trois systèmes.

Kepler construit d'abord, à partir des observations que lui avait léguées Brahé, l'orbite de Mars autour du Soleil. Il constate qu'elle n'est pas circulaire comme dans l'hypothèse copernicienne, mais elliptique, et que le Soleil en occupe l'un des foyers. Puis il établit que la planète décrit des arcs auxquels correspondent des aires proportionnelles aux temps. Ces deux résultats, étendus à toutes les planètes du système solaire, ont été désignés sous le nom des deux premières lois de Kepler. La troisième, que Kepler trouva dix ans plus tard, énonce que les carrés des révolutions planétaires sont proportionnels aux cubes des grands axes de leurs orbites.

L'établissement de ces lois qui décrivent le mouvement des planètes n'était concevable que si un instrument fiable permettait de mesurer le temps. Pour la

première fois, les mouvements planétaires satisfont à des lois mathématiques. La question du « *moteur* » de ces mouvements elliptiques se pose à Kepler. Il doit résider dans le Soleil, centre du système planétaire, afin d'expliquer l'uniformité. Un peu à l'image de la chaleur ou de la lumière qui en émane, il envisage une « *vertu* » magnétique ou pseudo-magnétique qui expliquerait pourquoi les planètes se soumettent à ses lois. Selon Kepler, elle ne s'exercerait que dans le plan de l'orbite et son intensité varierait en raison inverse de la distance (loi en $1/r$). Dans son ouvrage paru en 1609, *Astronomia nova*, Kepler évoque l'attraction mutuelle qu'il croit possible, mais il n'ira pas plus loin dans ce domaine. Il était profondément influencé par la tradition pythagoricienne, dans la recherche de nombres et par le mysticisme platonicien de la Renaissance, qui attribuait des âmes aux corps célestes, comme le Soleil. De plus, il semble avoir été fortement influencé par l'hermétisme. Ses trois lois montrent comment il est parvenu à des résultats en se fondant sur un système de croyances tempéré par l'analyse des faits.

Il n'est pas difficile d'imaginer que les découvertes de Kepler durent paraître inacceptables à ses contemporains pour la raison majeure qu'elles mettaient à mal les impératifs aristotéliens admis par tous. Elles prouvent que les planètes ne décrivent pas des cercles et, enfin, elles sont universelles. En effet, elles s'appliquent à tous les astres du système solaire. En particulier, elles ont pour conséquence que la Terre ne joue pas un rôle particulier dans le cosmos, mais un rôle analogue à celui des autres planètes. Kepler a donc simplifié la description en supprimant les sphères censées prévoir le mouvement des planètes. Il a finalement fourni l'argument définitif en faveur de l'héliocentrisme, et, à bien des égards, il est considéré comme le fondateur de l'astronomie moderne.

2.2.3.3 Galilée (1564-1642), défenseur du système copernicien

Le système copernicien fait de plus en plus d'adeptes parmi les astronomes européens, malgré l'opposition des théologiens. L'Église catholique refuse d'admettre que la Terre n'est pas le centre du monde, car le modèle géocentrique s'accorde mieux avec le récit de la Création tel qu'il figure dans la Bible. Partisan du système de Copernic, Galilée continue pourtant d'enseigner la théorie de Ptolémée à ses élèves à l'université. Cependant, dans l'un de ses livres, *Dialogo sopra i due*

massimi sistemi del Mondo, il explique en détail le système de Copernic, jusque-là peu connu du grand public, et il présente tous les arguments en sa faveur. Il cherche alors un soutien auprès de Kepler.

Les observations de Galilée vont commencer à faire vaciller le système de Ptolémée. D'une part, en janvier 1610, Galilée découvre quatre satellites autour de Jupiter, confirme que la Lune est un satellite de la Terre et non une anomalie du système. Avant cette date, aucun astronome n'avait observé de mouvement satellitaire, semblable à celui que Copernic imaginait pour la Lune dans son système. Surtout, nous n'avions jamais observé un grand corps de l'Univers tourner sur lui-même, comme Copernic supposait que la Terre tournait sur elle-même en 24 heures. Or, Galilée observe dans le ciel ces deux phénomènes : il découvre les satellites de Jupiter en 1610 et le fait que le Soleil tourne sur lui-même en 1612, à l'aide de l'observation des taches solaires. Restait la question de l'expérience terrestre : elle semble s'opposer à l'idée d'un mouvement de la Terre. Galilée possède la réponse, car il a compris les analyses de Giordano Bruno, qui avait pris un bateau comme modèle de la Terre. Dans la cale d'un navire en mouvement, où l'air est enfermé et participe au mouvement, le mouvement du bateau sur une mer calme semble insensible. Ainsi, Galilée disposait du principe d'inertie que n'avait pas Kepler.

D'autre part, ses observations du relief lunaire et la présence de taches à la surface du Soleil montrent que les astres ne sont pas purs et homogènes comme le pensaient les Anciens. Avant Galilée, Christophe Scheiner avait déjà observé les taches solaires à Ingolstadt dès 1611, tout comme Thomas Harriot à Oxford, et surtout Johann Fabricius à Wittenberg. Ce dernier publiera un opuscule sur les taches solaires dont la préface est datée du 13 juin 1611 et il sera de plus le premier à en donner une interprétation correcte. Toutefois, la publication de Galilée *Lettres sur les taches solaires* (1613) s'est imposée par sa rigueur : il s'appuie sur la déformation des taches au fur et à mesure de la rotation du Soleil pour écarter l'hypothèse des planètes. En effet, certains soutiennent que les taches pouvaient être confondues avec les disques de planètes passant devant le Soleil, mais cet argument semble rapidement réfuté par Galilée grâce à ses analyses de la variation de leurs formes. Galilée, en prouvant que le Ciel est soumis à des altérations comme les taches solaires, détruit la dichotomie du Ciel et de la Terre : la Terre est placée dans le Ciel, comme une planète.

Enfin, si certaines planètes, comme Vénus, ont des « *phases* » d'ombre et de lumière comme la Lune, c'est donc qu'elles tournent, comme la Terre, autour du Soleil et non autour de la Terre. Le système Ptoléméen est ainsi remis en cause, même s'il reste à trancher entre deux systèmes équivalents du point de vue cinématique : le système copernicien et le système tychonien. Se pose alors la question de la parallaxe : si la Terre tourne autour du Soleil, alors les étoiles fixes devraient manifester un « *décalage* » produit par ce mouvement, mais il n'était pas observable. Galilée souligne que cette absence de preuve n'est pas une réfutation : il suffit de supposer que les étoiles sont trop loin pour que le mouvement de la Terre produise un décalage apparent sensible.

Toutes ces observations inédites sont menées grâce à l'invention d'un nouvel instrument : la lunette astronomique, perfectionnée par Galilée. Il publie le résultat de ses observations dans le *Sidereus Nuncius*, traduit par *Le Messager des étoiles*, en 1610. Outre des échanges épistolaires avec Kepler, la publication de son œuvre permit aussi de diffuser ses idées. Ses observations vont permettre de détruire le fondement du géocentrisme qui prévalait jusque-là et pour lequel la Terre était nécessairement immobile, alors que le Ciel était nécessairement mobile. De plus, il avait les réponses aux objections : la nature est une, infinie, et partout la même. Pourtant, Galilée avance également sur le plan de la mécanique et vérifie des hypothèses qui vont confirmer l'héliocentrisme. Il formule ainsi le principe d'inertie, selon lequel un corps qui n'est soumis à aucune force se déplace en ligne droite et à vitesse constante, par rapport à un référentiel. La loi d'inertie reste en totale contradiction avec la théorie d'Aristote dans laquelle un mouvement doit être entretenu pour exister. Restait un dernier problème : la lecture des textes religieux.

Dans sa *Lettre à Madame Christine de Lorraine* (1615), Galilée explique que les textes religieux doivent être soumis à une interprétation fondée sur les connaissances naturelles quand il s'agit de passages qui font allusion à des faits physiques, et non à une lecture littérale. Cependant, en 1616, l'Église catholique, inquiète des succès de la nouvelle astronomie, interdit finalement le *De revolutionibus orbium coelestium*. Il est inscrit sur la liste des ouvrages interdits par l'Église catholique romaine, l'Index. La mesure vise directement Galilée, qui est considéré comme le principal défenseur

de Copernic. Kepler écrira : « *Certains, par leur comportement imprudent, sont arrivés à ce résultat que la lecture de l'œuvre de Copernic, qui avait été absolument libre pendant quatre-vingts ans, est maintenant interdite.* » Kepler tenta de rassembler des partisans de Copernic, mais de nombreux savants hésitèrent à le soutenir publiquement. Galilée fut dénoncé au Saint-Siège. Les juges de Rome déclarèrent le système absurde et hérétique, et il fut ordonné à Galilée de ne plus professer une opinion contraire au bon sens et à la loi.

Après la campagne copernicienne de Galilée, qui s'arrête en 1616, un certain nombre de jésuites se sont convertis au système de Brahé, abandonnant Ptolémée. Le système de Ptolémée commettait une erreur manifeste sur l'ordre des planètes. En effet, il supposait que Vénus était plus proche du Soleil que Mercure. Surtout, il rendait compte moins facilement de certains phénomènes. Comment expliquer, par exemple, la différence importante de taille de la planète Mars, lorsqu'elle était en opposition avec le Soleil, près de la Terre et la conjonction avec le Soleil, loin de la Terre ? Ces observations plaident pourtant en faveur d'une rotation autour du Soleil plutôt qu'autour de la Terre.

Galilée poursuit pourtant ses recherches et publie en 1632 le *Dialogo sopra i due massimi sistemi del Mondo (Dialogue sur les deux grands systèmes du monde)*, dans lequel il défend les idées coperniciennes. Il avait reçu l'aval du cardinal Bellarmine à condition de respecter l'équilibre de présentation des deux systèmes, géocentrique et héliocentrique. Néanmoins, en dépit de ses protestations de neutralité, Galilée livre un dialogue socratique qui favorise la thèse de l'héliocentrisme et la remise en cause de la physique aristotélicienne. Le 20 juin 1633, il se trouva contraint d'abjurer solennellement. Condamné, il fut toutefois autorisé à se retirer dans sa villa d'Arcetri, près de Florence. Galilée restera finalement attaché aux mouvements circulaires des planètes, sans, toutefois, tenter d'en expliquer les raisons. Il n'acceptera jamais l'idée des orbites elliptiques de Kepler, avec qui il entretenait une correspondance et qui lui avait adressé des exemplaires de ses livres.

2.2.4 La réunification des Cieux et de la Terre par Newton (1642-1727)

Il allait appartenir à Isaac Newton (1642-1727) de donner une formulation exacte de ce principe et de fonder une véritable mécanique céleste. En 1666, à l'âge de 24 ans, dans la maison de ses parents où il s'était réfugié pour fuir la peste qui sévissait à Cambridge, Newton émit l'hypothèse que la cause à l'origine de la chute des corps terrestres devait aussi régir le mouvement des astres. À l'occasion de ce gigantesque saut conceptuel, un nouveau mot, celui de « *gravitation* », a été inventé pour décrire cette cause commune, cette force, qui envahit l'espace comme un champ de la Terre à la Lune.

Newton mit près de vingt ans pour formuler cette idée dans un langage mathématique que nous résumons, maintenant au Lycée, par deux équations. La première $\vec{F} = m\vec{a}$ affirme que l'accélération d'un corps, c'est-à-dire la variation de la vitesse, est proportionnelle à la force qu'il lui est appliqué. En l'absence de force, le mouvement est dit libre, l'accélération est nulle, la vitesse est constante et le mouvement est rectiligne uniforme comme l'avait déjà montré Galilée. Ce mouvement est appelé inertiel. La deuxième équation indique que la pomme et la Lune sont soumises à la même force \vec{F} qui est la force de gravitation de Newton. Elle est inversement proportionnelle au carré de la distance du centre de la Lune à la pomme. Les vecteurs de Descartes représentent la direction de la force dans l'espace newtonien à trois dimensions.

Le système héliocentrique Keplero-newtonien sera donc définitivement accepté avec Newton, qui publie en 1687 sa théorie de la gravitation universelle dans ses *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Principes mathématiques de philosophie naturelle*). Il explique ainsi le mouvement des planètes, en utilisant les théories et les observations de Kepler. Newton reformulera le principe d'inertie dans sa conception la plus large, en laissant place à un Univers infini que semblait refuser Galilée. Ce pont jeté entre ciel et terre a ouvert une ère nouvelle de la physique et elle est marquée par une formulation mathématique de plus en plus performante des équations de Newton. Toutefois, l'importance de Newton dépasse dans le fond la question de l'héliocentrisme et s'attache plus à l'unification des lois physiques.

2.2.5 Le Verrier (1811-1877) : la découverte de Neptune

Selon Lequeux, (2009), les deux siècles qui ont suivi ont été marqués par de spectaculaires avancées grâce au travail des mathématiciens. Ainsi, l'astronome Herschel (1738-1822) avait remarqué que la trajectoire de la planète Uranus était anormale. Cette planète n'obéissait pas strictement aux deux lois de Newton. Le modèle mathématique de la gravitation aurait-il atteint ses limites ? Pour résoudre ce conflit, Adams (1819-1892) en Angleterre et Le Verrier (1811-1877) en France parièrent pour les équations de Newton et se dirent qu'en fait Uranus devait obéir à la loi de Newton. Néanmoins, il manquait quelque chose qui perturbait la trajectoire de cette planète. Ils postulèrent donc l'existence d'une nouvelle planète qui s'appela Neptune et ils calculèrent la trajectoire que devait avoir cette planète pour expliquer le mouvement d'Uranus. À partir de septembre 1799, plus d'une vingtaine d'astronomes européens s'organisèrent pour débusquer la planète manquante.

Finalement, l'astronome Le Verrier présenta les résultats à l'Académie des sciences le 31 août 1846. Lequeux, (2009) rappelle que Le Verrier a obtenu sa trajectoire au mois de juillet et, dès le mois de septembre, la planète fût découverte par l'astronome allemand Galle, à l'observatoire de Berlin, le 22 septembre 1846. Le Verrier avait donc abouti à démontrer mathématiquement que la seule influence du Soleil et des planètes connues était suffisante pour expliquer les anomalies observées. De la sorte, la physique permet donc de prévoir les phénomènes et pas seulement de les constater.

Au XIX^e siècle, l'observation de la perturbation de l'orbite de Mercure a remis en question la théorie newtonienne. Plusieurs hypothèses ont été introduites afin d'expliquer cette anomalie et empêcher de voir falsifiée la mécanique de Newton. Motivée par le succès de la découverte de Neptune, Le Verrier prédit l'existence de d'une nouvelle planète, nommée Vulcain (Lequeux, 2009). Pourtant, le modèle avait atteint ses limites, car il ne prenait pas en considération l'avance du périhélie de son orbite autour du Soleil. L'anomalie de Mercure n'a pas pu être expliquée par la théorie newtonienne, mais elle n'a pas été abandonnée pour autant.



L'analyse de cet exemple historique met clairement au jour que le changement de paradigme ne se ramène pas simplement à une nouvelle compréhension des faits, mais se construit sur un fond de mutations culturelles et scientifiques que nous avons du mal à bien démêler. Il apparaît désormais distinctement que la notion brusque de « *révolution* » ne rend pas réellement justice à ce qui ressemble plutôt à une évolution. Il ne s'agit pas de discuter l'idée de rupture qu'a pu impliquer un tel changement, mais de montrer que ce bouleversement a peut-être eu plus de retentissements dans le monde culturel que dans le monde scientifique, pour lequel il n'a pu être une surprise, mais a plutôt constitué une confirmation d'un changement de méthodes.

Face à un tel exemple, l'histoire des sciences s'impose comme une piste de réflexion au problème que constitue la représentation adéquate de l'image de la nature des sciences. Si nous ne sommes pas capables d'appréhender tous les effets de cette rupture, il semble impossible d'obtenir une image plus conforme de l'activité scientifique. Il devient tentant de la réduire à une simple abstraction qui décrit le réel, mais qui ne semble pas en être extraite. La destruction du Cosmos des Anciens n'entraîne pas un simple changement de paradigme au sein des sciences, mais redessine totalement la pensée que l'homme a de lui-même et du monde et le pousse à reconsidérer la science elle-même. Ainsi, selon Freud, la théorie copernicienne a infligé la première humiliation à l'orgueil de l'être humain. Les deux autres ont été provoquées par la théorie de l'évolution et la psychanalyse.

Enfin, la discussion précise de ce changement permet de bien mettre en valeur pour les élèves plusieurs caractéristiques de l'activité scientifique telles qu'elles ont pu être listées par Maurines et Beaufils (2011) :

- Le débat souvent virulent qui a précédé la mise en place définitive du modèle galiléen a montré que l'activité scientifique est un lieu de controverses.
- La victoire du modèle galiléen repose précisément sur la mise en œuvre en parallèle d'expérimentations, mais aussi de simplifications par rapport aux modèles existants.
- L'immédiat retentissement de la position galiléenne a engagé d'autres travaux qui ont contribué à sa précision, comme les calculs de Kepler.

- La lunette de Galilée reste dans l'esprit du grand public un moment clé d'une telle découverte.
- La transition du modèle Ptoléméen à la conception galiléenne montre qu'un tel changement conjugue une lente évolution et certaines ruptures.
- La théorie héliocentrique ne va pourtant pas sans soulever d'importantes difficultés conceptuelles telles que le problème de la parallaxe stellaire.
- Les relations de dépendance réciproque entre les scientifiques et la société se retrouvent dans la résistance face au changement de « *centre* »³⁸.
- Derrière la controverse religieuse qui a participé à la renommée de notre exemple au sein du grand public, il reste qu'il a bouleversé une représentation culturelle du monde. Cet aspect historique a donc su peut-être mieux qu'un autre mettre en valeur les relations étroites qui unissent la science et les croyances.

³⁸ Nous utilisons ici cette expression en référence à l'ouvrage de Vollmann *Décentrer la Terre : Copernic et les révolutions célestes*, 2007.

3. ÉLABORATION DE LA SEQUENCE EXPERIMENTEE

3.1 Les objectifs d'apprentissage épistémologique retenus et les questions de recherche explorées

La démarche du chapitre précédent nous a permis de mettre en valeur l'interpénétration des différents éléments (culturels, politiques, religieux...) qui façonnent les sciences au-delà de leur champ d'application. Les sciences de cette époque apparaissent ainsi aussi bien influencées par des facteurs multiples et hétérogènes issus de la société que par des positions théologiques établies depuis des siècles. Afin de travailler les rapports sciences-croyances en classe de physique, nous avons élaboré, à la lumière des travaux menés par le groupe DidaScO, une séquence d'investigation documentaire à caractère historique fondée sur le passage des modèles géocentrique à héliocentrique.

La problématique générale d'un enrichissement des représentations des rapports sciences-croyances nous a conduit à élaborer cette séquence d'enseignement en privilégiant une entrée par le scientifique. Compte tenu du thème historico-scientifique retenu et des résultats connus sur les représentations des élèves ainsi que du temps que nous pouvions libérer pour réaliser cette séquence dans un cadre scolaire contraint, nous avons choisi d'accorder une place centrale à l'observation et à son rapport à la dimension théorique/métaphysique.

Nous avons cherché à examiner cinq questions de recherche (QR) :

- **QR1** : Quelle est la richesse des représentations de la NoS des élèves ? Quelle est la place des dimensions associées à l'Homme, la communauté scientifique et la société ? Quelle est son évolution ?
- **QR2** : Quelles sont les représentations des élèves de l'observation ? quelle est l'évolution de ces représentations ? Nous avons examiné cette question sous deux aspects : l'observation est-elle orientée ou non par la théorie, autrement dit la

démarche suivie par les scientifiques donne-t-elle la première place ou non à l'observation ? Le résultat de l'observation reste-il chargé de théorie ou non ?

- **QR3** : Quelles sont les représentations des élèves sur les critères de choix entre explications mobilisés par les scientifiques ? Quelle est l'évolution de leurs représentations ? Nous avons examiné au travers de cette question l'existence ou non de présupposés, de valeurs.
- **QR4** : Quelles sont les représentations des élèves sur ce qu'est « *être scientifique* », plus précisément sur la possible articulation d'une pratique scientifique et d'une pratique religieuse ? Nous avons également cherché à explorer un point resté en partie implicite dans la séquence, car il n'a pas donné lieu à un travail de synthèse particulier avec les élèves, celui de l'attitude qu'il doit adopter, en particulier s'il est croyant.
- **QR5** : Une dernière question à laquelle nous avons cherché des réponses est celle du rapport des élèves à l'expérimentation.

3.2 Panorama de l'étude empirique

Un premier test en classe a été réalisé dans une classe de terminale scientifique afin d'avoir un premier aperçu de sa réception par les élèves. La reprise de cette expérience encadrée par un questionnaire nous a permis de mieux appréhender l'image de la nature des sciences des élèves. Après cette première expérimentation, nous avons également pu améliorer la définition des activités demandées aux élèves et les outils de suivi en vue d'une deuxième expérimentation. Celle-ci a eu lieu un an plus tard.

La figure 12 présente un aperçu général qui fait apparaître l'amélioration progressive du contenu de la séquence, des supports d'activité (textes, diagramme de synthèse) et des outils de suivi (questionnaires initial, post-investigation et final). Nous n'avons pas filmé l'expérimentation, car c'était un dispositif assez lourd à mettre en place et que les contraintes de l'année de terminale S ne nous l'ont pas permis.

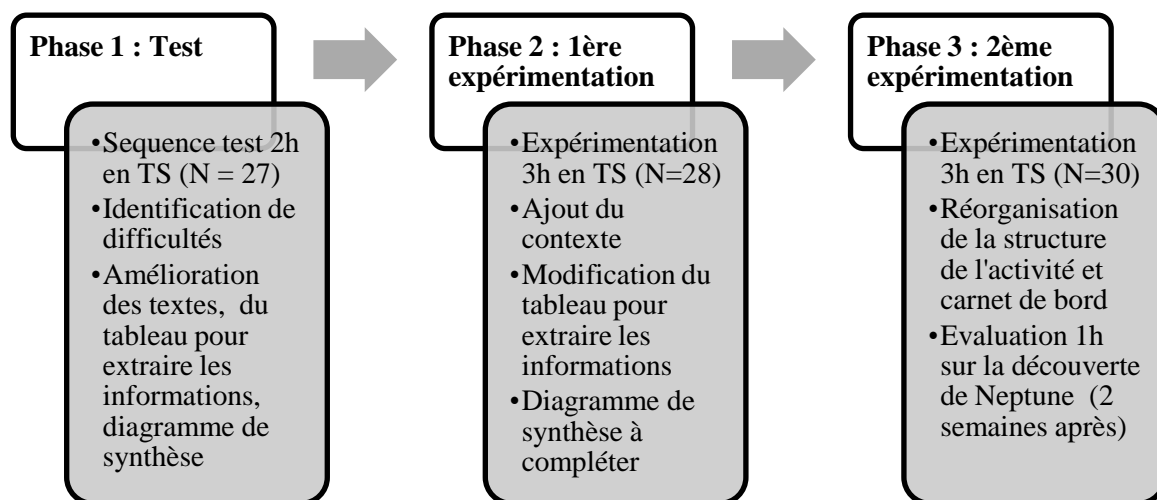


Figure 12 : évolution de la séquence

Nous présentons d'abord la séquence telle qu'elle a été testée. Ensuite, nous décrirons les éléments qui caractérisent cette séquence.

3.3 La séquence expérimentée et analysée

3.3.1 Les contraintes

Cette expérimentation a été soumise à un certain nombre de contraintes pédagogiques importantes qui méritent d'être signalées. D'abord, l'année de terminale est une véritable course contre la montre, consacrée à la préparation de l'épreuve de physique-chimie du baccalauréat scientifique et aux choix d'orientation. Les élèves doivent être préparés à l'épreuve pratique d'évaluation des compétences expérimentales, d'une part, et aux épreuves écrites, d'autre part. Cette double contrainte, outre le fait qu'elle est assez chronophage, conduit à privilégier des activités et des travaux pratiques de type baccalauréat plutôt que l'expérimentation de pratiques pédagogiques plus stimulantes pour les élèves. Ensuite, d'autres contraintes liées à l'organisation du lycée ont aussi pesé sur sa mise en place, comme la progression commune des travaux pratiques. Compte tenu de ces contraintes de temps

et de progression, nous n'avons pu prendre en fin d'année scolaire que deux séances de cours et une séance de TP pour travailler en demi-groupe. La séquence didactique est constituée d'une investigation documentaire visant à construire des connaissances nouvelles sur la *NoS* (1 cours et 1 TP) et d'une étude documentaire visant à évaluer la mobilisation d'une partie des connaissances acquises (1 cours).

3.3.2 L'investigation documentaire : stratégies

Sur le plan didactique, nous avons choisi de mettre les élèves en activité et de leur proposer un questionnement centré sur l'image de la nature des sciences. Il constitue une approche innovante visant explicitement une prise de conscience des élèves par leur participation pendant les séances. Pour ce faire, nous avons organisé les séances d'enseignement sur des analyses critiques de documents scientifiques intégrant une approche historique. Le travail des élèves est déterminé par la consigne fixée par l'enseignant en lien avec l'objectif épistémologique général retenu relatif aux rapports entre sciences et croyances.


Cette mise en activité est en outre conçue et construite pour être plus particulièrement une activité collective. En effet, l'information historique est répartie dans les différents documents et distribuée sur la classe par l'enseignant. Les élèves ne lisent pas tous les textes, mais ils se concentrent seulement sur quelques-uns afin de les exploiter. Ils sont ensuite conduits à confronter leurs informations, à conjuguer leurs analyses pour co-construire une synthèse. Celle-ci se présente sous la forme particulièrement originale d'un diagramme structuré autour de la controverse entre le paradigme géocentrique et le paradigme héliocentrique. À cela s'ajoutent certaines aides pour les élèves afin d'anticiper des problèmes de lecture ou de compréhension d'un texte scientifique. En effet, selon notre expérience d'enseignant, les élèves ont des difficultés dans la lecture de textes ou l'extraction d'information. La compréhension de consignes écrites présuppose de repérer des informations explicites, mais aussi d'identifier les rapports implicites entre ces informations.

L'investigation documentaire a été conduite dans le cadre des travaux pratiques de deux heures en demi-classe et d'une heure de cours en classe entière. Cette situation

particulière a permis de consacrer trois heures à cette activité. Les avantages des travaux pratiques sont justement de sortir du cadre strict de la classe et d'avoir moins d'élèves, pour passer plus facilement du temps avec les élèves individuellement ou par petits groupes.

3.3.3 L'investigation documentaire : le corpus documentaire retenu

Nous avons élaboré un ensemble de documents préparés à partir d'ouvrages d'historiens et de philosophes (en annexe). Ces documents sont adaptés au niveau de la classe de terminale. Nous avons mis en place une démarche originale avec un corpus documentaire composé de sept monographies : Aristote (384-322 av. J.-C.) ; Claude Ptolémée (v. 100 — v. 170) ; Nicolas Copernic (1473-1543) ; Tycho Brahé (1546-1601) ; Johannes Kepler (1571 – 1630) ; Galilée (1564-1642) ; et Isaac Newton (1642-1727). Nous avons souhaité mettre en valeur les noms des savants, parce qu'ils nous ont semblé être assez faciles et simples à identifier pour les élèves. Ce nombre de documents reste suffisamment élevé pour garantir un éventail de points de vue et limiter la réduction inévitable de l'image de la nature des sciences. Ce choix demeure suffisamment restreint pour favoriser une analyse efficace, compte tenu du temps limité dont nous disposons, et ne pas décourager les élèves lors de la lecture.



Aristote (384-322 av. J.-C.)

Aristote est un penseur qui a vécu au IV^e siècle avant Jésus-Christ. Il s'appuie sur les idées de l'un de ses prédécesseurs, Platon.

Selon Platon, le monde doit, en raison de sa perfection liée à son origine divine, avoir une forme sphérique, et le mouvement de tout corps céleste doit être circulaire et uniforme : « Celui qui constitue le monde [...] lui donna comme figure celle qui lui convenait et qui lui était apparentée. Au vivant qui doit envelopper en lui-même tous les vivants, la figure qui pouvait convenir, c'était celle où s'inscrivent toutes les autres figures. Aussi est-ce la figure d'une sphère, dont le centre est équidistant de tous les points de la périphérie, une figure circulaire, qu'il lui donna comme s'il travaillait sur un tour – figure qui entre toutes est la plus parfaite et la plus semblable à elle-même – convaincu qu'il y a mille fois plus de beauté dans le semblable que dans le dissemblable. » (Platon, *Timée*, 33b)


Dans le système cosmologique d'Aristote, la Terre est immobile au centre du monde et entourée d'une succession de sphères cristallines. L'univers est constitué de huit sphères concentriques qui tournent autour de la Terre fixe indépendamment l'une de l'autre. La plus grande porte les étoiles fixes et les autres les sept astres connus (Soleil, Lune, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne). La voûte étoilée est mue par un premier moteur (Dieu) qui lui imprime un mouvement de 24 heures autour de la Terre. Quant aux mouvements des astres, ce sont d'autres êtres (moteurs) qui en sont à l'origine. Seuls quelques penseurs ont soutenu l'héliocentrisme dans l'Antiquité, dont le fameux Aristarque de Samos (v. 310-230 av. J.-C.).

Aristote introduit aussi une idée qui va être acceptée jusqu'au XVI^e siècle : la distinction entre la Terre et les cieux. Pour lui, tout ce qui est situé à l'intérieur de l'orbite lunaire, la Terre et son atmosphère, est le lieu de l'imperfection et du changement, on y rencontre tout type de mouvements (rectiligne, curviligne...). Alors qu'au-delà de la Lune, se trouve le ciel, lieu de perfection et sans changement. Dans le monde supralunaire, tout tourne uniquement d'un mouvement circulaire uniforme. Dans le monde sublunaire, le mouvement « naturel » de tout objet terrestre est rectiligne et dirigé vers le centre de la Terre, qui constitue le centre immobile de l'univers.

L'œuvre d'Aristote ne constitue pas une innovation majeure au sein des idées cosmologiques. Dans la lignée de Platon, Aristote instaure le géocentrisme en dogme dont il justifie, tout au long du traité du ciel, la vérité par des arguments tirés de sa propre physique. Comprendons que la cohérence de l'ensemble de la cosmologie aristotélicienne ne tient qu'à la compréhension adéquate des principes reçus en sa physique. Ainsi Aristote estime suffisant l'argument de la chute des corps vers le centre du monde pour affirmer que la terre est elle-même au centre du monde. [...]

L'importance d'Aristote ne tient donc pas, pour l'histoire de la cosmologie, dans la précision qu'il introduit au sein de l'observation des astres. Cette importance tient surtout à la mise en ordre radicale dont les objets sont tout à la fois la physique et la cosmologie qui lui est associée. Contrairement à Copernic, dont l'astronomie s'instaure en l'absence d'une science générale du mouvement, Aristote fait immédiatement école dans la mesure où il propose une grille de lecture de la science qui traite de la nature en général.

CHAREIX F., *La Révolution galiléenne : cosmos et univers*, Ellipses, 2001



Ptolémée (v. 100 - v. 170)

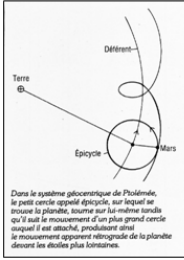
Claude Ptolémée est un mathématicien et astronome grec. Très peu de choses sont connues de sa vie, sauf ses observations astronomiques de 127 à 141 à Alexandrie.

Le principal défaut du système d'Aristote est son incapacité à expliquer les variations de taille des planètes vues depuis la Terre. Pour cette raison, Ptolémée modifie ce système en introduisant la notion d'épicycle, mais sans remettre en question les fondements posés par Aristote et Platon. Il développe le modèle proposé par Eudoxe dans lequel les irrégularités des mouvements observés sont expliquées par une combinaison de mouvements réguliers.

Pour Ptolémée, la Terre est fixe et au centre de l'univers. Le Soleil, la Lune et les planètes se déplacent autour de la Terre dans l'ordre suivant : la Lune, Mercure, Vénus, le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne. Les corps célestes ne sont pas liés à des sphères solides et transparentes dont le centre est la Terre.

En fait, chacun d'eux se déplace sur un petit cercle, nommé épicycle. Le centre de l'épicycle se déplace sur une sphère cristalline en suivant un grand cercle centré sur la Terre, nommé déferent. L'association des mouvements circulaires uniformes des astres est ainsi conforme aux mouvements constatés depuis la Terre. En adaptant la position et la taille de l'ensemble des cercles, Ptolémée obtient un système capable de reproduire avec précision les mouvements des corps célestes vus depuis la Terre. Il est, de plus, en mesure d'expliquer les variations de taille et d'éclat des planètes, puisque désormais leur distance varie par rapport à la Terre.

Derrière cette harmonieuse complexité, il faut bien saisir que Ptolémée ne construit qu'un modèle géométrique qui vise à rendre compte des observations conformément aux principes de la métaphysique aristotélicienne et non à livrer une explication réaliste des phénomènes célestes tels qu'ils existent. Le système de Ptolémée a été largement utilisé et étudié jusqu'à Copernic. Pour affiner sa précision, les astronomes ont amélioré le modèle en lui rajoutant constamment des épicycles. Une seule planète pouvait ainsi avoir quelquefois une vingtaine d'épicycles. Le système de Ptolémée est un double succès d'efficacité et de simplicité, car l'explication est purement géométrique et est fondée sur un seul concept. Il perfectionne le système d'Aristote, dans la forme mais pas sur le fond, ce qui explique qu'il fut admis jusqu'au XVI^e siècle.



Dans le système géocentrique de Ptolémée, le petit cercle appelé épicycle, sur lequel se trouve la planète, tourne sur lui-même tandis qu'il suit le mouvement d'un plus grand cercle auquel il est attaché, produisant ainsi le mouvement apparent rétrograde de la planète observé depuis les étoiles plus lointaines.

Figure 13 : exemple de documents sur Aristote et Ptolémée

Chaque texte est constitué d'une page et présente des informations sous différentes formes : un extrait de texte philosophique, un schéma (cas du système solaire) ou des dessins (la Lune par Galilée), de façon à faire apparaître directement ou indirectement la problématique choisie. Les documents proposés sont tous structurés de la même manière :

- Une introduction qui situe le ou les scientifiques ;
- Un texte mettant en avant la théorie défendue par le scientifique et faisant apparaître directement ou indirectement, la nature de la science, ainsi que le statut des présupposés des scientifiques ;
- Des notes de bas de page précisant des points de vocabulaire généralement mal connu des élèves.

L'idée de ce projet est de considérer aussi la dimension religieuse et de montrer que sciences et religions sont deux mondes différents. Nous avons donc introduit dans les textes des éléments sur le contexte socioculturel. Cette approche donne une vision plus riche de cette période à l'image du travail de Bracco, Krebs, Charrier et Albrecht (2004) sur l'histoire des idées sur la lumière qui intègre trois parties : une partie historique, une partie expérimentale et une partie philosophique.

Ainsi, à partir d'un extrait de l'ouvrage de Chareix (2001)³⁹, les élèves peuvent être amenés à s'interroger sur la conception aristotélicienne du Ciel. En effet, Aristote propose une cosmologie conforme aux attentes de son époque et qui permet de « *sauver les phénomènes* », c'est-à-dire qu'elle rationalise parfaitement les mouvements visibles des astres depuis la Terre. Ptolémée produira à partir de ces exigences méthodologiques un système complet que les élèves essaieront donc de comprendre. L'étrangeté d'un tel modèle pour les élèves doit être discutée afin de montrer que loin d'être aberrant un tel système explicatif s'impose puisqu'il est parfaitement conforme à ce que peuvent observer d'eux-mêmes les élèves à tout moment. Il suffit de regarder dehors pour voir le Soleil tourner autour de la Terre. La recherche de conformité aux phénomènes va si loin qu'elle en arrive à complexifier la théorie avec, par exemple, la question des épicycles ou le problème des justifications ad hoc. Il semble essentiel de s'intéresser sur le rôle et le sens de ces modèles qui

³⁹ *La révolution galiléenne cosmos et univers*. Ellipses. 2001

n'ont pas pour vocation première de dire ce qu'est la réalité, mais de la sauver par le biais d'une hypothèse qui permet de la comprendre. D'ailleurs, la question de la vérité, autrement dit du lien entre *explication* et *réalité* semble importante à souligner chez Ptolémée pour faire comprendre les difficultés à la réception de Galilée.

La préface d'Osiander au *De Revolutionibus* de Copernic explicite le mieux ce processus puisqu'il est écrit clairement que si l'hypothèse est juste elle n'est peut-être pas, cependant, conforme à ce qui se passe réellement. Les élèves peuvent ainsi retrouver l'approche de la philosophie avec le statut hypothétique de ces énoncés, mais aussi le rapport aux textes de Platon. En effet, Copernic place le Soleil au centre, car il est considéré comme l'astre le plus digne, ce qui implique une position centrale. Le texte de Galilée doit permettre la conceptualisation du nouveau modèle et mettre en évidence les changements et l'efficacité des théories en fonction des critères que nous attribuons à la science. Le cas des montagnes de la Lune est un exemple de preuve de la prééminence de la théorie sur l'observation. Harriot et Galilée ne voient pas la même chose alors qu'ils observent le même objet. Il semble important, cependant, de souligner que la réception du modèle héliocentrique de Galilée ne s'est pas faite sans difficulté. Enfin, Newton, avec la Loi universelle de la gravitation, entérine ce changement de paradigme important. Ce texte permet de mettre un point final et de clore clairement le passage du géocentrisme à l'héliocentrisme pour les élèves. Dès lors, ce corpus documentaire, relativement dense, ne peut qu'amener légitimement les élèves à se questionner sur les origines de ces changements majeurs : sont-ils liés à la découverte d'un nouveau « fait » scientifique ? Si ce n'est pas le cas, qu'est-ce qui peut donc les motiver ?

3.3.4 L'investigation documentaire : organisation

Cette séquence a été présentée aux élèves comme un approfondissement du cours de mécanique au travers de l'histoire des sciences avec un triple objectif : acquérir de la culture générale en ayant une vision plus large des connaissances déjà acquises ; préparer la compétence EEI (extraire et exploiter l'Information) ; et ouvrir de nouvelles perspectives s'agissant des rapports entre philosophie et physique-chimie.

L'étude d'une courte vidéo⁴⁰ « *Qu'est-ce qui gravite autour de la Terre ?* » a constitué une situation d'accroche en focalisant l'attention des élèves sur le public qui se trompe et donne comme réponse le Soleil au lieu de la Lune. Elle a permis de faire un double état des lieux : connaissance scientifique correcte ou non ; capacité de justifier cette connaissance (autrement dit, à fournir une argumentation). Les élèves ont ensuite eu à répondre à des questions sur la nature des sciences (questionnaire 1). Cela permettait tout à la fois de connaître leurs conceptions que de les faire rentrer dans l'activité. L'objectif annoncé de l'activité qui a suivi est l'étude du passage d'une vision géocentrique à une vision héliocentrique et de la façon dont la théorie héliocentrique a été admise par les scientifiques.

Dans la mesure où le corpus est dense, les élèves travaillent en quatre groupes de lecture. Chaque groupe de quatre élèves étudie des textes des modèles géocentrique et héliocentrique. Les textes du groupe 1 et 2 se complètent en prévision de l'étape de mise en commun du tableau où ces groupes ont été mélangés (G1' et G2').

Groupe	Géocentrique	Héliocentrique	Élève 1	Élève 2	Élève 3	Élève 4
G1	1	3	1. Aristote	4. Brahé	1. Aristote	4. Brahé
	4	7	3. Copernic	7. Newton	7. Newton	3. Copernic
G2	2	5	2. Ptolémée	5. Kepler	2. Ptolémée	5. Kepler
		6	6. Galilée	7. Newton	7. Newton	6. Galilée
		7				
			G1'		G2'	

Tableau 10 : Organisation de la lecture des textes

Grâce à l'étude des documents, chaque élève remplit un tableau permettant une première structuration « *verticale* ». Les échanges entre les élèves d'un même groupe étaient autorisés pour qu'ils prennent du recul et se fassent une idée claire de ce qu'ils font. D'ailleurs, l'activité se fait principalement à l'écrit, car il s'agit d'un moyen d'explicitation, ou pour tenter d'illustrer, ce qu'ils pensent. Cette mise en activité favorise le contact avec les documents et initie à une méthode intellectuelle critique et formatrice. Ce travail sur les documents a pour fonction de mener à la compréhension du concept de présupposés, des éléments des modèles étudiés et des différents arguments avancés par les scientifiques. Pour des questions d'ordre

⁴⁰ Qu'est-ce qui gravite autour de la terre ? — À l'émission *Qui veut gagner des millions ?* — TF1

logistique, l'activité de construction du diagramme de synthèse a été travaillée en classe entière et non en groupe restreint. La synthèse des grilles a été vidéo-projetée en expliquant que nous pouvons en faire un diagramme avec les différentes bulles pour indiquer les relations d'interdépendance. Les élèves volontaires ont alors ajouté les informations tirées de leur lecture sur le diagramme partiellement rempli. La validation du diagramme a reposé sur le fait que les éléments principaux n'ont pas été oubliés et que les interactions entre les présupposés, les deux théories scientifiques et les faits d'observation étaient clairs. Une fois le diagramme validé en classe, les élèves ont été soumis à un deuxième questionnaire quinze jours plus tard. Le tableau 11 présente les deux étapes de l'investigation documentaire et le suivi recherche mis en place.

Séance 1 en TP (2 h) — 2 groupes de 15 élèves		Recherche
	Présentation + situation d'accroche	
Appropriation du problème	Répondre aux questions écrites	questionnaire n° 1 (N=30)
Résolution du problème Phase 1	Lecture par chaque élève de 2 textes du groupe (g1 ou g2) en relevant : Le scientifique et la position défendue ; Les nouveaux éléments apportés ; Les arguments invoqués ; Position par rapport à la religion.	Tableaux (2 groupes N=7)
Echange	<i>Mise en commun du tableau au sein du groupe (g1 ou g2)</i>	
Phase 2	<i>Nouveaux groupes (g1' ou g2')</i> <i>Mise en commun du tableau entre les groupes 1' et 2'.</i> Organisation des informations contenues dans le tableau (phénomènes, modèles et arguments) Construction d'un schéma intermédiaire (demande aux élèves d'expliquer leurs choix)	Diagrammes (2 groupes N=7) Carnet de bord (2 groupes N=7)
Séance 2 en cours 1 h — 30 élèves		Questionnaire n° 2 (N=30)
Phase 3	Analyse et comparaison des diagrammes de chaque groupe	
Institutionnalisation	Diagramme de synthèse + discussion sur l'idée de science	
Séance 3 en cours 1 h — 30 élèves		Questionnaire n° 3 (N=30)
Enrichissement/évaluation	Texte sur vulcain	

Tableau 11 : Organisation de l'étude

3.4 Les tableaux et diagrammes de synthèse

3.4.1 Evolution du tableau synoptique

Le travail des élèves consiste à remplir un tableau synoptique. La première version testée était relativement prescriptive et contenait de nombreuses exigences spécifiques relatives aux observations/explications et aux trois valeurs caractérisant l'activité scientifique que nous avons retenues notamment à partir de la lecture de Brenner (2011), à savoir l'exactitude (n° 1), la cohérence (n° 2), et la simplicité (n° 3) :

Scientifique	Conception	Observations confirmant la conception	Explication	Types de valeur (1, 2 ou 3)

Tableau 12 : Tableau synoptique — Version 1

Ce tableau, initialement inspiré de l'ouvrage de Singh (2005)⁴¹, demande aux élèves d'indiquer des observations allant dans le sens de la conception des scientifiques. Il vise également à ce que les élèves s'interrogent sur les critères à l'aune desquels les modèles géocentrique et héliocentrique pouvaient être jugés. Il montre en particulier que les partisans de la théorie géocentrique compatible avec la physique aristotélicienne mettent en avant la cohérence alors que les partisans de la théorie héliocentrique invoquent sa simplicité. Suite aux réactions des élèves, nous avons lors du test noté plusieurs suggestions d'améliorations. Depuis, nous avons analysé et statué sur chaque réponse reçue lors du test, ce qui nous a amené à d'autres versions.

Nous nous sommes demandé si nous n'avions pas intérêt à rajouter des colonnes pour que les élèves précisent les différents phénomènes évoqués dans les textes et distinguent les phénomènes célestes des phénomènes terrestres. Pour ce faire, nous avons combiné l'approche des deux rubriques qui intègre les modèles géocentrique et héliocentrique tout en prenant en considération le contexte au sein duquel ce

⁴¹ Singh, S. (2005), *Le Roman du big-bang*, Jean-Claude Lattès, Paris.

changement opère et une approche par trois sous-rubriques : les apparences du ciel ; les apparences terrestres ; et la relation entre le Ciel et la Terre. Cependant, si ce nouveau tableau paraît assez simple, il faut une plus grande compréhension de la physique globale des deux systèmes pour le remplir :

scientifique	Conception du mouvement de la Terre (des planètes) et du Soleil	Observations connues pour justifier la conception		Observations non connues	Explication donnée pour justifier la conception du mouvement de la Terre et du Soleil	
		Observations connues non prises en compte	Observations connues posant problème		Mouvements célestes	Mouvements terrestres

Tableau 13 : Tableau synoptique — prototype n° 1 (non testé)

À la suite de ce prototype, à des fins de simplification, nous avons introduit l'approche par questions, plus axée sur les arguments et nécessitant moins de colonnes : la position du scientifique, ses arguments et ses justifications :

Quel scientifique ?	Quelle conception : héliocentrique ou géocentrique ?	Quelle est son explication ?	Quels sont les arguments pour justifier l'explication

Tableau 14 : Tableau synoptique — prototype n° 2 (non testé)

Finalement, cette version a été enrichie, la version définitive étant plus cohérente avec les objectifs. Par rapport au précédent tableau, les changements apportés concernent les dernières colonnes qui font apparaître les arguments d'ordre « *culturel ou religieux* » (en faveur ou contre) et ceux qui vont dans le sens ou contredisent la vision chrétienne :

Quel Scientifique ?	Quelle position défend-il ?	Quels nouveaux éléments importants	Sur quels arguments s'appuie-t-il	Sa position contredit-elle la vision cosmologique	Le scientifique s'oppose-t-il de façon

			apporte-t-il ?	pour défendre sa position ?	classique du christianisme ?		directe à la religion ?	
	Géocentrique	Héliocentrique			oui	non	oui	non

Tableau 15 : Tableau synoptique final — Version 2

Nous avons aussi ajouté une colonne sur les éléments importants et renforcé les exigences concernant l'argumentation. Ces colonnes ont été largement simplifiées, et proposées sous forme de questions plus simples à comprendre. Le terme d'observation n'apparaît plus dans cette version. Outre la plus grande cohérence dans l'emploi des termes spécifiques, quelques petits changements d'ordre technique ont également été apportés. Par exemple, les élèves doivent désormais cocher certaines colonnes pour gagner du temps. Nous avons procédé aux deux expérimentations successives avec ce tableau final.

3.4.2 Evolution du diagramme de synthèse

Les informations extraites des documents sont synthétisées sous forme d'un diagramme de synthèse permettant de mieux appréhender l'évolution, et surtout de distinguer un certain nombre de présupposés qui ont constitué l'évolution des modèles d'Univers. Les diagrammes de synthèse que nous avons successivement mis en œuvre s'inspirent du schéma de Maurines (2010)⁴² et font apparaître clairement différents niveaux. Ces diagrammes relèvent de la modélisation et mobilisent la dimension métaphysique du paradigme. .

⁴² cf. article « *l'enseignement des sciences face au fait religieux* »

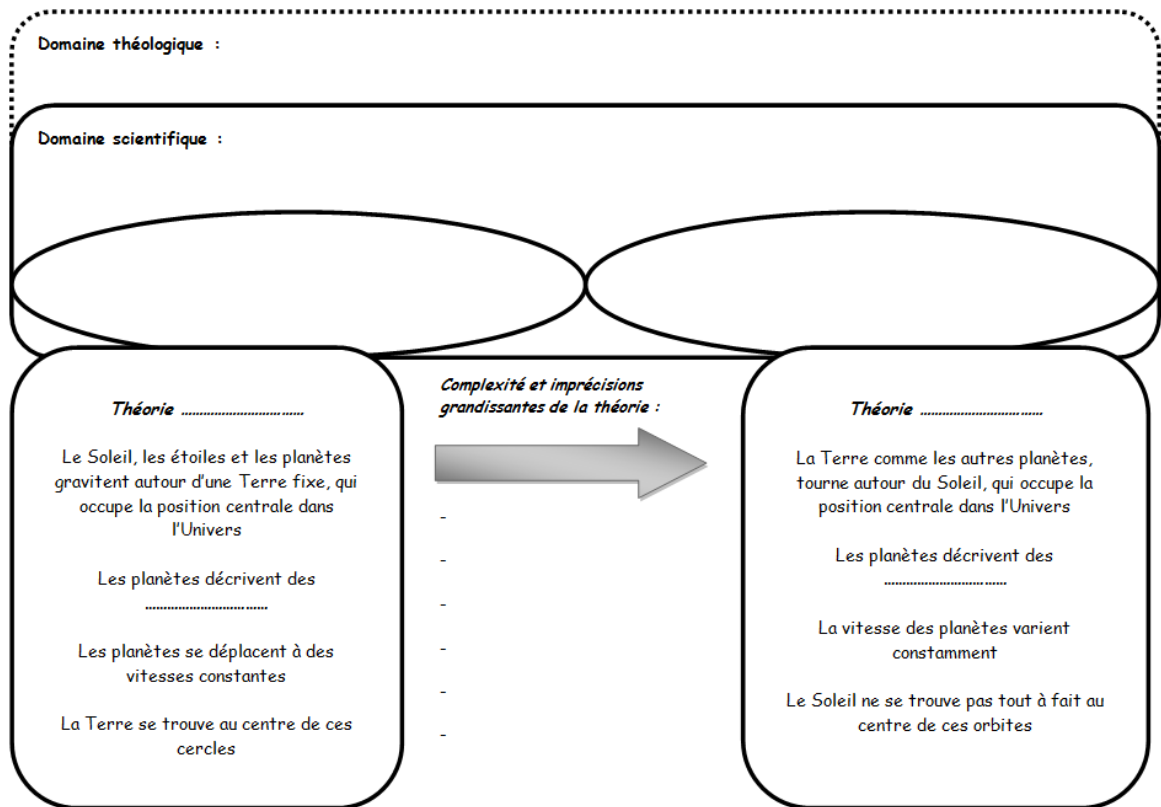


Tableau 16 : diagramme de synthèse version 1

La partie haute du diagramme de la première version met en avant la distinction entre présupposés scientifiques et religieux. La partie basse présente les principaux éléments des deux théories et quelques faits d'observations. Dans l'ensemble, les deux parties se chevauchent pour montrer l'interpénétration qui existe entre les différents registres. Par ailleurs, cette forme fait apparaître les différents niveaux. Les « tensions » et « accords » montrent comment les choses évoluent. La difficulté était de présenter le lien entre les phénomènes et les explications. En effet, il s'agit de présenter non seulement le modèle proposé, les phénomènes qu'il explique et les présupposés sur lesquels il repose, mais aussi les phénomènes qui ne sont pas expliqués. Nous avons voulu faire apparaître les oppositions sans pour autant mettre trop d'entités et de flèches dans ce diagramme dans un souci de simplicité. Nous n'avons pas mis directement une case « réception du modèle » pour prendre en compte l'aspect social et humain, mais cet aspect reste présent dans les bulles supérieures.

Pour la deuxième expérimentation, nous avons souhaité aider les élèves à différencier les différents niveaux : phénomènes, théories et présupposés. Nous avons procédé à cette expérimentation avec ce diagramme final :

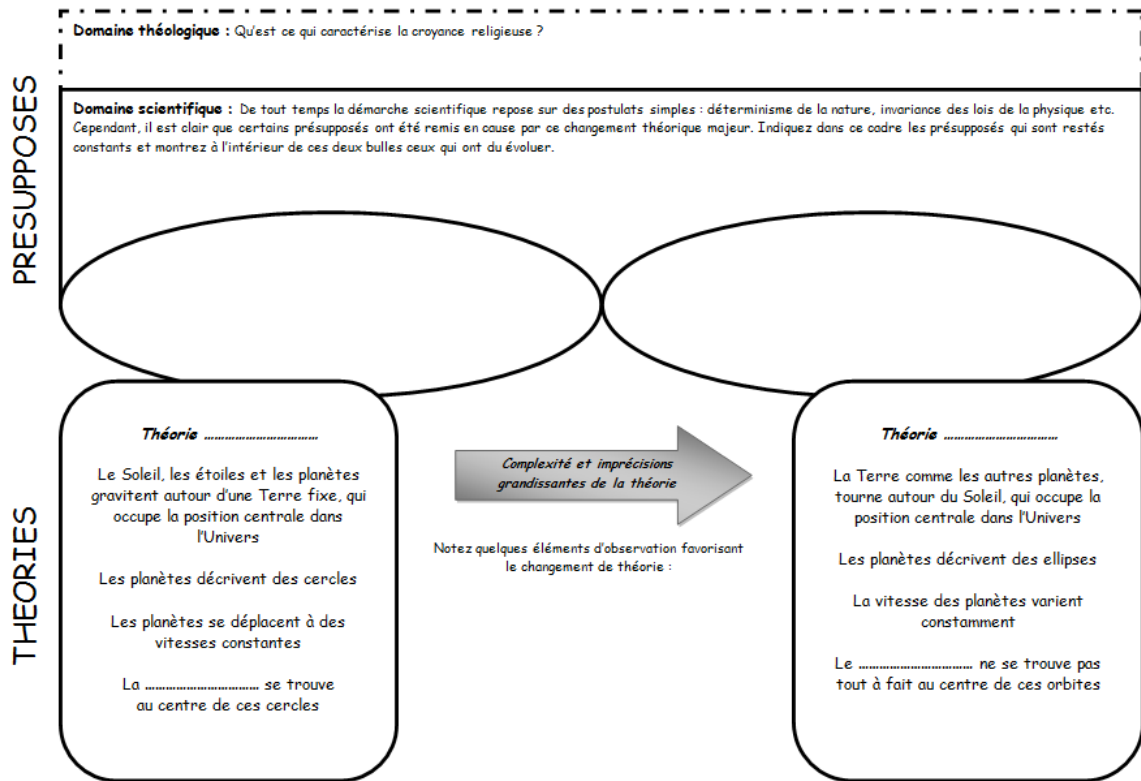


Tableau 17 : diagramme de synthèse version 2

4. LES OUTILS DE SUIVI DES ELEVES

Le recueil de données a été réalisé à l'aide de trois questionnaires qui ont été distribués à tous les élèves lors de la séquence en classe. Dans les articles de recherche sur les représentations de la NoS, la démarche traditionnelle dans l'élaboration d'un questionnaire consiste à tester les questions auprès d'un spécialiste pour vérifier si elles sont bien construites. Ces dernières sont ensuite expérimentées auprès des élèves pour évaluer leur compréhension. Les questionnaires que nous détaillons ci-dessous et dont nous présentons les résultats dans la partie 3 sont des versions améliorées d'une première version testée au cours de la première expérimentation

Nous avons également relevé les tableaux et diagrammes complétés par les élèves pendant l'investigation documentaire et avons demandé aux élèves de renseigner un carnet de bord. Nous présentons le carnet de bord puis les trois questionnaires. Nous terminons par une mise en perspective des questionnaires et des questions de recherche.

4.1 Le carnet de bord

Au travers de ce carnet, nous avons cherché à obtenir, dans la mesure du possible, des informations supplémentaires sur les difficultés rencontrées par les élèves et sur les critères qu'ils retiennent pour compléter le tableau et le diagramme.

Ce carnet a été rempli par les élèves pendant la phase n° 2 de la première séance. Il comportait les questions suivantes :

1. Après une lecture attentive des documents, indiquez ici les difficultés que vous avez pu rencontrer :
2. Avez-vous eu des difficultés pour remplir le tableau ? Si oui, de quel ordre sont-elles ?
3. Expliquez vos choix pour réaliser le diagramme.
4. Étiez-vous tous d'accord entre vous ? En quoi avez-vous été en désaccord ? Quels sont les éléments qui ont permis d'unifier vos réponses ?

4.2 Le questionnaire pour le recueil des conceptions initiales

Afin de faire entrer les élèves dans la démarche, sans en dévoiler l'objet, et de vérifier nos hypothèses, nous les avons soumis à un premier questionnaire qui porte sur trois axes de réflexion : le rapport observation-théorie ; les présupposés et valeurs ; la possibilité pour un scientifique d'être croyant. Les six questions, inspirées de différents questionnaires, sont les suivantes :

Premier questionnaire	Point sur la NoS	Résultats déjà connus
<i>Q1.1. Selon vous, quels arguments ont été avancés par les scientifiques au XVI^e XVII^e siècle en faveur de l'héliocentrisme ?</i>	argumentation pour héliocentrisme	
<i>Q1.2.1. Est-ce que d'après vous un bon physicien est quelqu'un qui observe d'abord ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Pourquoi ?</i>	Rapport observation-théorie : orientation de l'observation par la théorie	Recherche S-Team : E. Triquet et J.C. Guillaud (question A8)
<i>Q1.2.2. Deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Pourquoi ?</i>	Rapport observation-théorie : ancrage théorique de l'observation	Questionnaire VOSI Schwartz, Lederman, N. G., et Lederman, J. S. (2008) : « <i>Si plusieurs scientifiques, travaillant indépendamment, posent la même question et suivent les mêmes procédures pour collecter des données, parviendront-ils nécessairement aux mêmes conclusions ?</i> » Chen (2006) « <i>Les observations des scientifiques sont influencées par des croyances personnelles (par exemple, expériences personnelles, présomptions) ; par conséquent, ils ne peuvent pas faire les mêmes observations pour la même expérience.</i> »
<i>Q1.3. Lorsqu'une explication est mise en défaut par une observation est-elle abandonnée par les physiciens ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Pourquoi ?</i>	Présupposés, critères de choix, valeurs	Questionnaire L1 Maurines, Fuchs-Gazellot et Ramage (2013)

<i>Q1.4. Quand deux explications permettent de rendre compte du même phénomène, que font les physiciens ?</i>	Présupposés, critères de choix, valeurs	Questionnaire VOSI Schwartz, Lederman, N. G., et Lederman, J. S. (2008)
<i>Q1.5. Peut-on être scientifique et croyant ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Pourquoi ?</i>	homme multidimensionnel sciences-religions	Questionnaire L1 Maurines, Fuchs-Gazellot et Ramage (2013)

Tableau 18 : Tableau synthétique des questions abordées avant la séquence

Les questions portent donc essentiellement sur quatre points :

- la question de l’argumentation pour l’héliocentrisme (question Q1.1) ;
- les rapports et liens théorie-observation explorés sous deux angles : la théorie orientant l’observation, la démarche (question Q1.2.1), la théorie restant ancrée dans l’observation, l’ancrage théorique (question Q1.2.2 — *obstacles : dévoilement du réel, observation neutre, empirisme, réalisme*) ;
- les critères auxquels obéit le choix/changement de modèle (questions Q1.3, Q1.4 — *obstacle : accord total empirie et théorie*) ;
- un scientifique est un Homme, multidimensionnel, il peut avoir des croyances religieuses (question Q1.5 — *obstacle : science n’est pas que rationalité*).

Ce premier questionnaire est donc centré sur l’élaboration des savoirs par une communauté (les physiciens). Il est fondé sur une représentation des sciences comme une construction humaine résultant de pratiques de sujets multidimensionnels (non purement rationnels, pouvant être scientifique et croyant ou non croyant), tout en s’intéressant au cadrage théorique et aux critères de choix d’une théorie. Il aborde plusieurs points délicats autour de l’idée des sciences :

- l’observation n’est pas neutre/objective c’est-à-dire décrivant la réalité telle qu’elle est ; l’acceptation d’un savoir ne résulte pas uniquement d’un accord avec les résultats d’observation ou d’expérimentation (présupposés sur la fécondité, par exemple) ;
- le travail scientifique comprend deux dimensions : « *pratique* » et « *intellectuel* ». Ce dernier ne relève pas toujours de la raison logique (intuition, présupposés)
- la comparaison des pratiques scientifique et religieuse.

4.3 Les questionnaires pour étudier les représentations après la séquence

4.3.1 Le questionnaire immédiatement après la séquence

Pour l'expérimentation, les élèves ont été soumis à un deuxième questionnaire pour mesurer leur acquis sur le plan de la *NoS* et leur rapport à un travail de nature épistémologique en cours de physique-chimie.

Deuxième questionnaire	Point sur la <i>NoS</i>
<i>Q2.1. Qu'est ce que cette séance vous a appris d'important sur l'élaboration des savoirs scientifiques ? Expliquez.</i>	Élaboration des savoirs
<i>Q2.2. Comment expliquez-vous que Ptolémée et Copernic défendent des positions différentes ?</i>	Ancrage théorique de l'observation
<i>Q2.3. Une lecture attentive des textes vous montre que la plupart de ces grands scientifiques étaient croyants, pensez-vous que cela ait pu avoir une grande influence sur leur travail en tant que scientifique ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Pourquoi ?</i>	Qu'est-ce qu'être scientifique ? Sciences-religions
<i>Q2.4. Cet exemple célèbre de l'astronomie vous montre que les sciences sont en perpétuelle évolution, cela signifie-t-il que Ptolémée (par exemple) était dans l'erreur ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Pourquoi ? Si oui peut-il être encore selon vous considéré comme un scientifique ?</i>	Qu'est-ce qu'être scientifique ? Rapport du modèle à la réalité
<i>Q2.5. Cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Pourquoi ?</i>	Place de l'observation dans la démarche
<i>Q2.6. Est-ce qu'il vous semble important de réfléchir sur ce qu'est l'activité scientifique ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Pourquoi ? Ne peut-on pas considérer que vous aviez vous-même une forme de présumé vis-à-vis de l'activité scientifique elle-même ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> précisez-le(s) quel(s)</i>	Rapport à l'innovation et métacognition sur leurs conceptions

Tableau 19 : Tableau synthétique des questions abordées dans le 2^e questionnaire

Nous avons scindé le questionnaire en plusieurs points :

- Une réflexion sur ce qui a été appris au cours de la séquence qui est considéré comme important (question Q2.1) ;
- Deux questions sur l'ancrage théorique de l'observation (question Q2.2) et la place de l'observation dans la démarche (question Q2.5) ;

- Une question sur les rapports entre la foi et la raison (question Q2.3) : Il s’agit d’une question sur l’attitude qui repose sur l’hypothèse qu’un scientifique est un sujet multidimensionnel et qui permet de tester l’idée « naïve » d’une science rationnelle et objective. C’est une question sur ce qu’est être scientifique.
- Une question (Q2.4) sur l’évolution des savoirs (première partie) et ce qu’est être un scientifique (deuxième partie). Elle vise également à tester le rapport du modèle à la réalité : est-il une description de ce qui existe (existence « réelle » du modèle) ou une simple hypothèse (« sauvant les phénomènes ») ?
- Le rapport à l’innovation et la métacognition sur leurs conceptions initiales (question Q2.6).

4.3.2 La séance d’enrichissement/évaluation

Deux semaines après cette expérimentation, nous avons exploré à nouveau les points de vue des élèves sur la *NoS*. Pour cela, nous avons mis en place une autre activité sur la découverte de Neptune. Mettant en valeur le rapport entre théorie et observation, nous voulions tester la capacité des élèves à réinvestir une partie des connaissances acquises précédemment sur la *NoS*. En effet, cette capacité suppose d’être capable d’identifier des arguments de registres différents, ce que le diagramme de synthèse construit collectivement après l’activité documentaire met en évidence.

Cette deuxième étape de la séquence relève par ailleurs d’un enrichissement dans la mesure où d’une part, la situation historique n’est pas la même, et que d’autre part, nous avons étudié le positionnement épistémologique des élèves avec de nouvelles questions sur des objectifs restés implicites dans la première partie de la séquence. Nous voulions en effet explorer la représentation du scientifique que se construisaient les élèves au travers du corpus de document et des activités proposées.

L’objectif du questionnaire associé à cette nouvelle contextualisation est donc double : mesurer la compréhension de l’activité scientifique quant au rôle de l’observation et des présupposés d’une part, de l’attitude scientifique d’autre part. Sur ce point, nous avons soumis quatre questions aux élèves qui sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Troisième questionnaire	Point sur la <i>NoS</i>
<i>Q3.1. Selon vous, à qui doit-on attribuer la découverte de la planète Neptune ? Que doit-on en déduire du rôle de la théorie et de l'observation en science ?</i>	rappel théorie/expérience
<i>Q3.2. Pourquoi les scientifiques alors qu'ils ne trouvent pas la planète cherchent-ils à tout prix à proposer d'autres hypothèses compatibles avec ce phénomène plutôt que de remettre en question les conclusions de la théorie de Newton ?</i>	présupposés
<i>Q3.3. Cette volonté de ne pas remettre en cause la théorie de Newton est-elle complètement rationnelle ?</i>	Qu'est-ce qu'être scientifique ?
<i>Q3.4. La « vraie » démarche scientifique ne serait-elle pas plutôt dans l'attitude qui interroge les théories existantes plutôt que dans celle qui cherche à les préserver à tout prix ?</i>	Attitude scientifique

Tableau 20 : le questionnaire « *De Neptune à Vulcain* »

La première question est liée au rapport théorie/expérience. Les autres questions correspondent en partie à un objectif implicite de la séquence. Elles constituent une ouverture pour montrer que l'important est de ne pas seulement suivre une démarche, mais d'entrer dans une attitude scientifique.

4.4 La progression structurée des questions et l'exploration de l'image du scientifique construite implicitement

Nous avons adopté une approche progressive des questions, en particulier sur le rôle de l'observation et de la croyance dans l'activité scientifique. Dans le premier questionnaire, les questions sont ouvertes et demandent si et sous quelles conditions cela est possible. En revanche, dans le deuxième questionnaire, nous leur donnons une situation potentiellement problématique et nous leur demandons de justifier. Cette diversité des questions nous a permis d'analyser plus finement les réponses obtenues. De plus, compte tenu de l'existence de contraintes de temps, nous avons été amenés à répartir les points abordés sur les deux questionnaires post séquence.

Concernant les sciences et les croyances, certains aspects sont abordés distinctement dans chaque questionnaire. Après la séquence, nous avons étudié la séparation des registres scientifiques et religieux, tandis que dans le questionnaire n°3 nous avons voulu identifier s'il existe encore des croyances dans les sciences :

avant enseignement.	Immédiatement après.	Post séquence.
Premier niveau de question : croyant et scientifique.	Foi et science : influence de la foi dans le travail scientifique.	Croyances dans les pratiques scientifiques : Vulcain.

Tableau 21 : les sciences et les croyances

Par ailleurs, au travers de cette séquence qui travaille explicitement trois objectifs épistémologiques, les élèves se construisent aussi une image du scientifique. Compte tenu du temps imparti, il n'était pas envisageable de proposer d'autres activités aux élèves et de développer ce point avec eux. Nous avons souhaité cependant explorer cette image juste après la séquence (questionnaire 2) et quinze jours après (questionnaire 3).

La question « *Cet exemple célèbre de l'astronomie vous montre que les sciences sont en perpétuelle évolution, cela signifie-t-il que Ptolémée (par exemple) était dans l'erreur ? Si oui peut-il être encore selon vous considéré comme un scientifique ?* » du questionnaire 2 se rapproche de la question « *La "vraie" démarche scientifique ne serait-elle pas plutôt dans l'attitude qui interroge les théories existantes plutôt que dans celle qui cherche à les préserver à tout prix ?* » du questionnaire 3.

Finalement, qu'est-ce que c'est qu'être scientifique ? Est-ce tant la démarche que l'attitude à avoir ? Bachelard rappelle à ce propos que le propre d'un scientifique est de savoir poser des questions. Nous pouvons être capables de suivre une démarche, mais le plus important semble être l'attitude intellectuelle, comme la capacité à se remettre en question, à douter et à développer son esprit critique.

Nous pourrions ajouter qu'un scientifique n'a pas nécessairement de réponse. L'attitude scientifique est aussi caractérisée par la capacité à se critiquer soi-même et à accepter l'incertitude. Un scientifique possède un esprit d'autocritique et reste réflexif par rapport à lui-même. Comme le soulignent Favre et Rancoule (1993), cette attitude suppose ainsi une position non dogmatique.

Le tableau 22 met en perspective les questions de recherche et les questions des questionnaires :

	Questionnaire 1	Questionnaire 2	Questionnaire 3
QR richesse et NoS	Toutes les questions	Toutes les questions	
QR2 (observation-théorie)	Q1.2.1 Q1.2.2	Q2.5 Q2.2	Q3.1
QR3 (présupposés et valeurs)	Q1.3 Q1.4		Q3.2
QR4 (qu'est-ce qu'être un scientifique ?)	Q1.5 sciences-croyances	Q2.3 sciences-croyances Q2.4 attitude	Q3.3 et Q3.4 attitude
QR5 (rapport à la séquence)		Q2.1 et Q2.6	

Tableau 22 : mise en perspective des questions de recherche et des questions des questionnaires

5. METHODOLOGIE D'ANALYSE DES REPONSES

Dans les études de conceptions, relatives à des concepts de physique (la force par exemple) ou épistémologiques (la démarche scientifique par exemple), deux approches différentes coexistent. Une première vise à caractériser une réponse en elle-même et *ipso facto* indépendamment du fait que cette réponse soit correcte ou non. Une seconde cherche à caractériser une réponse par rapport à celles considérées comme appropriées. Cette approche conduit à une catégorisation en réponses correctes/incorrectes. Dans ce cas, les qualificatifs utilisés pour distinguer les conceptions « *naïves* » sont nombreux (spontanées, naturelles, erronées, etc.) et renvoient à des idées légèrement différentes. Ceux utilisés par Lederman et son groupe dans le cas de la NoS (« *naïve* » et « *informée* ») renvoient implicitement à « *faux/correct* ».

Toutefois, il est possible d'enrichir le répertoire de la typologie de réponses envisagées par Lederman en analysant les arguments des élèves eux-mêmes selon la démarche proposée par Maurines *et al.* (2013, 2016, 2018). Celle-ci consiste à caractériser la NoS à l'aide de neuf dimensions : « *Visées et caractéristiques générales de la science* » ; « *Objets d'étude* » ; « *Ressources* » ; « *Produits* » ; « *Élaboration en sciences* » ; « *Attitudes* » ; « *Communauté* » ; « *Société* » et « *Temps* ». Ce cadre multidimensionnel permet une analyse en termes de dimensions, de richesse et de complexification de l'image de la NoS des élèves. L'hypothèse sous-jacente est que le degré de richesse de la vision des pratiques scientifiques dépend du nombre et de la diversité des dimensions, sous-dimensions et catégories mobilisées, le degré de complexité de la façon dont elles sont mises en relation/en tension.

Nous avons d'abord choisi de catégoriser les justifications des réponses selon des critères épistémologiques liés aux objectifs pédagogiques poursuivis en suivant une approche similaire à celle de Lederman (2002). Cette première étape est fondée sur une caractérisation socioconstructiviste des sciences. Ensuite, nous avons réalisé une analyse sur le plan de la richesse de la NoS qui s'appuie sur le même type de vision des sciences. Une vision riche des sciences implique la prise en compte de neuf

dimensions parmi lesquelles la communauté et la société ainsi que l'attitude, dimension prenant en compte les qualités intellectuelles et sociales liées à l'individu.

Il est important de souligner que notre étude reste celle d'une exploration des conceptions des élèves dans le contexte particulier d'une séquence d'enseignement et de différentes situations (avant et après la séquence). Nous avons cherché à assurer la stabilité de notre analyse des réponses fournies aux questionnaires en les codant plusieurs fois. Nous avons également cherché à en limiter la subjectivité en la croisant avec celles d'autres chercheurs au cours de réunions de laboratoire, la stabilité intersubjective sur l'ensemble du corpus restant à atteindre.

5.1 L'analyse en termes de positionnement

Cette analyse a visé l'identification des différents types d'explications et de difficultés associées aux trois objectifs épistémologiques placés au cœur de la séquence. Une analyse *a priori* a permis de définir des catégories de réponses (brutes et justifications) associées à une vision socioconstructiviste des sciences. La littérature de recherche sur la *NoS* nous a également permis d'envisager des catégories de réponses correspondant à des représentations naïves. Cette double analyse préalable nous a permis de réaliser une première catégorisation des réponses et justifications fournies par les élèves et a, en retour, enrichi le répertoire de réponses envisagées.

La catégorisation a été réalisée de la manière suivante. Pour chaque question, nous avons lu l'ensemble des réponses des élèves et avons repéré sur chaque réponse une ou plusieurs unités d'analyse, constituées par une phrase ou une portion de phrase possédant un sens complet en elle-même. Les unités d'analyse (ua) au sein de chaque question ont ensuite été réunies en catégories homogènes. Les pourcentages associés à chaque catégorie de réponses correspondent au nombre d'ua dénombrées dans la catégorie rapporté à l'effectif de la population interrogée.

Il est à noter qu'il n'y a pas de correspondance stricte entre un point épistémologique et une question. D'une part, nous pouvons atteindre deux points épistémologiques au travers de certaines d'entre elles. D'autre part, nous nous sommes rendu compte que

les élèves pouvaient évoquer deux points dans la réponse à une question que nous avions conçue pour tester un point particulier.

5.2 L'analyse en termes de richesse

Pour enrichir l'analyse épistémologique, nous avons choisi de classifier la variété des arguments en termes de dimensions de la *NoS* dans l'esprit de Maurines *et al.* (2013). Nous utiliserons les abréviations suivantes pour désigner les neuf dimensions sur les schémas de la partie 3 consacrée à la présentation des résultats :

- Objets d'étude (Obj)
- Visées et caractéristiques (Vis)
- Ressources (Res)
- Produits (Pro)
- Elaboration en sciences (Ela)
- Communauté (Com)
- Société (Soc)
- Attitudes (Att)
- Temps (Tps)

Autrement dit, il a s'agi de déterminer les dimensions, sous-dimensions et catégories, évoquées dans chaque réponse d'élèves en enrichissant le répertoire de sous-dimensions et catégories si besoin. Nous avons réalisé une analyse qualitative et une semi quantitative.

Pour chaque réponse d'élèves, nous avons repéré une ou plusieurs unités d'analyse, constituées par une phrase ou une portion de phrase, relevant de telle ou telle dimension. Afin de pouvoir estimer la richesse des réponses à une question, nous avons dénombré le nombre d'unités d'analyse identifiées par dimension sur l'ensemble de la classe ainsi qu'un nombre moyen et global d'unités d'analyse par élève.

5.3 Les résultats de la classe et par élève

Nous avons étudié les réponses données par les élèves aux trois questionnaires de différentes façons.

Pour chaque question des questionnaires 1 et 2, nous avons d'abord examiné les réponses brutes et les justifications fournies par la classe en réalisant une analyse en termes de positionnement (selon la méthode de Lederman) puis en termes de dimensions mobilisées et de richesse (selon la méthode de Maurines *et al.*).

Ensuite, nous avons essayé de déterminer la position de chaque élève sur les trois objectifs d'apprentissage épistémologiques placés au cœur de la séquence en examinant les réponses fournies à une ou plusieurs questions des questionnaires 1 ou 2. Nous avons également cherché à dégager des profils d'élèves en corrélant les positions relatives à ces trois objectifs.

Enfin, nous avons comparé les résultats obtenus pour la classe et chaque élève en termes de dimensions et de richesse avant et après la séquence. Nous avons également comparé les résultats obtenus pour chaque élève en termes de positionnement sur les trois objectifs épistémologiques retenus.

Ainsi, ces deux types d'analyse doivent nous permettre d'étudier l'enrichissement de la vision des sciences des élèves à la fois par le nombre de dimensions et de catégories mobilisées. La comparaison avant-après portera sur les objectifs et la richesse de la *NoS*. Précisons que compte tenu des effectifs interrogés, les fréquences et pourcentages peuvent seulement contribuer à indiquer des tendances majoritaires ou minoritaires.

Troisième partie : Résultats

La séquence a été testée auprès de 30 élèves de terminale S du Lycée Rotrou à Dreux (28). Dans cette classe, les garçons sont légèrement plus nombreux que les filles (57 % contre 43 %) et le pourcentage de redoublants est de 13 %. En termes de résultats scolaires, 80 % de ces élèves ont obtenu le baccalauréat, contre 92 % au niveau national⁴³ en série S. Le taux de réussite avant le rattrapage s'est établi à seulement 67 %. La part des élèves recevant une mention ne s'est élevée qu'à 40 %, contre 53 % au niveau national. Un seul élève a remporté une mention « *Très Bien* » et deux une mention « *Bien* ».

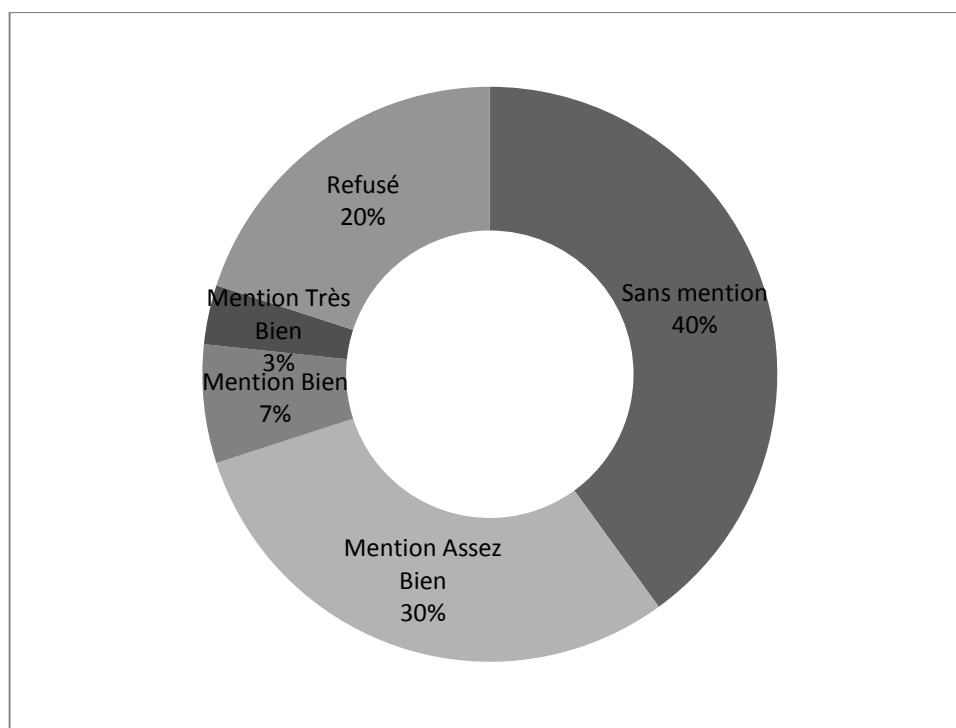


Figure 14 : Les résultats des élèves au baccalauréat (N=30)

Les filles étaient plus nombreuses à obtenir le baccalauréat (54 % contre 46 %). Toutefois, les mentions « *Bien* » et « *Très Bien* » ont été décrochées par des garçons.

⁴³ Source : Ministère de l'éducation nationale, Note d'information — N ° 24 — juillet 2015.

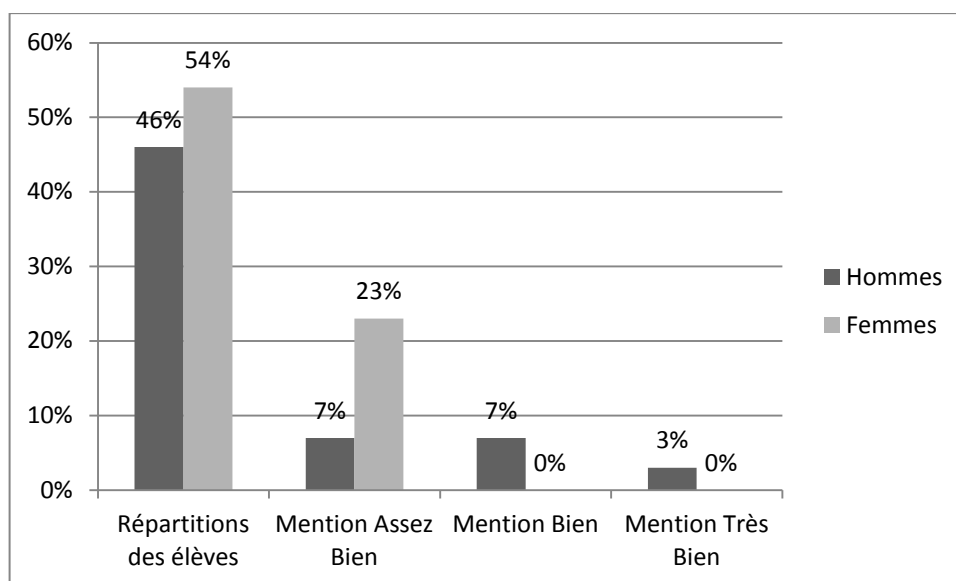


Figure 15 : Répartition des élèves ayant obtenu le baccalauréat en pourcentage (N=24)

Nous présentons⁴⁴ ci-dessous une synthèse de l'analyse *a priori* et *a posteriori* des réponses récoltées grâce aux questionnaires, tableaux, diagrammes et carnets de bord. Elle apportera de nouveaux éclaircissements sur l'image de la nature des sciences de ces élèves, en particulier relatifs aux objectifs poursuivis.

1. LE QUESTIONNAIRE AVANT LA SEQUENCE

1.1 L'étude des résultats de la classe

1.1.1 Selon vous, quels arguments ont été avancés par les scientifiques au XVI^e-XVII^e siècle en faveur de l'héliocentrisme ?

Le questionnaire initial sert à la fois d'introduction à la séquence et au suivi de l'étude. La première question, très contextualisée, est une accroche sous la forme d'une situation déclenchante. Elle reste, néanmoins, tout aussi intéressante pour notre étude. Pour répondre succinctement, nous pouvons dire que les nouvelles

⁴⁴ Par convention, les extraits des réponses cités dans le texte seront transcrits sans aucune modification et écrits en italiques.

observations de Galilée, rendues possibles par l'avènement de la lunette astronomique, remettent en cause la division aristotélicienne sublunaire et supralunaire. Nous citons, à titre d'exemple, les phases de Vénus, les taches solaires, les imperfections de la surface de la Lune et les satellites de Jupiter. Ces éléments participent indirectement à la remise en question de la théorie géocentrique et à l'élaboration par Galilée d'une nouvelle physique en faveur de l'héliocentrisme.

De son côté, Kepler affine le modèle héliocentrique à l'aide des observations plus précises de Brahé. Il démontre notamment que les planètes décrivent des ellipses, et non des cercles. Leur rétrogradation devient une conséquence naturelle du mouvement de la Terre et de notre changement de position. Le système Keplero-newtonien semble plus simple, grâce à un nombre plus réduit d'éléments théoriques.

Compte tenu des cours de philosophie et de physique-chimie, la réponse attendue des élèves n'est qu'une réponse très courte, voire aucune réponse. Elle porte sur la question de l'évidence, accentuée par les images, les films et la télévision, mais aussi par la représentation sociale dominante. Par ailleurs, l'élève peut être tout simplement incapable de se questionner, comme un premier obstacle selon Bachelard : l'expérience première ou la première expérience sensible non questionnée. Une réponse simpliste et naïve serait également d'évoquer l'image de la découverte instantanée avec une idée indiscutable ou une expérience cruciale.

En outre, cette première question avait pour objectif, avant tout, d'introduire l'activité et de motiver les élèves. Autrement dit, les élèves doivent s'appropriier le sujet. La réponse attendue en terminale S, la plus « *naturelle* » et la moins problématique est que le modèle héliocentrique semble plus simple. Ils peuvent aussi répondre que Kepler améliore ce modèle en démontrant que les planètes décrivent des ellipses.

1.1.1.1 Des difficultés à avancer des arguments scientifiques

Environ deux tiers (63 %) des élèves interrogés ont déclaré qu'ils ignoraient quels arguments ont été avancés par les scientifiques au XVI^e — XVII^e siècle en faveur de

l'héliocentrisme. Comme ils n'ont jamais suivi de cours d'histoire des sciences, l'absence d'argument ou d'élément sur ce sujet semble normale.

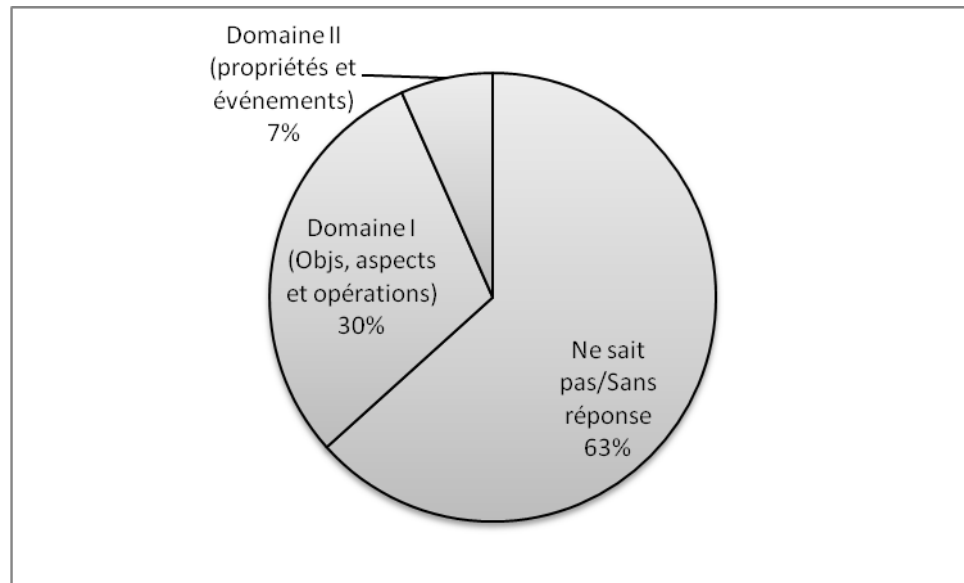


Figure 16 : selon vous, quels arguments ont été avancés par les scientifiques au XVII^e-XVIII^e siècle en faveur de l'héliocentrisme ? (N=30)

Parmi ceux qui ont répondu (36,7 %) à cette question, une majorité d'élèves (30 %) n'indique qu'un seul niveau du schéma de modélisation : soit le phénomène, soit la théorie. D'ailleurs, quelques-uns donnent une observation « naïve » dans le sens de « spontanée » ne répondant pas à une question. Ils se focalisent uniquement sur les preuves empiriques (uniquement des observations), sans prendre en considération le rôle de l'expérience : « *En regardant le mouvement des autres planètes, avec la lunette galiléenne* » (Sacha). Néanmoins, certains semblent apporter des réponses qui s'appuient sur des éléments plus théoriques : « *Loi de Kepler (ellipse). La Terre tourne autour du Soleil en formant une ellipse* » (Jimmy). Dans l'ensemble, peu de réponses sont riches en informations et bien argumentées. Les éléments proposés ne sont pas mis en relation les uns avec les autres.

Par ailleurs, les résultats montrent que seulement deux élèves (6,7 %) sont capables, sur cette question, d'articuler les phénomènes et la théorie. Gersende écrit que « *Le Soleil est un astre ; toutes les autres planètes ainsi que la Terre n'est pas logique qu'elles tournent autour de la Terre. Elles tournent alors autour du "seul" astre.* »

La structure de l'argumentation peut être caractérisée selon le schéma de Toulmin (1958)⁴⁵ :

D1 : Le Soleil est un astre →Elles tournent autour du Soleil

D2 : La Terre est une planète (comme les autres)

G : toutes les planètes se comportent de la même façon

La question n'invitait pas à argumenter et donc il ne semble pas surprenant que nous ne trouvions pas beaucoup de réponses qui se prêtent à ce type d'analyse.

L'argumentation de Pierre-Louis tient à deux registres scientifiques et religieux : « *La religion, la Terre n'aurait pu être placée par Dieu ailleurs qu'au centre. Diverses observations, mais approximatives et réalisées avec du mauvais matériel semblaient aller dans ce sens* ». Est-ce que ce n'est pas un raisonnement par l'absurde implicite ? Serait-ce un fondement implicite ?

D1 : diverses observations →C : la Terre est au centre

D2 : Importance de la Terre (G : Dieu et l'Homme)

Restrictions : observations approximatives (matériel)

En définitive, nous avons eu que très peu de réponses justifiées à cette question. Mais la question ne demandait pas d'argumenter, uniquement de donner des arguments, ce qui a sans doute conduit les élèves à ne pas développer d'argumentation solide.

1.1.1.2 La nature des dimensions

Les réponses peuvent être interprétées en fonction de la richesse de la *NoS*, à savoir en nombre de dimensions et de catégories évoquées. Les élèves évoquent seulement 0,7 dimension en moyenne. Nous remarquons que certaines réponses sont plus structurées que d'autres. Cette difficulté d'argumentation nous ramène à la complexité de la *NoS*, en particulier, celle des liens entre catégories et dimensions.

⁴⁵ Les lettres utilisées renvoient au schéma d'argumentation de Toulmin (D : Données, C : Conclusion et G : Garantie)

L'histogramme ci-après montre la distribution de fréquences d'unité d'analyse relevant de différentes dimensions.

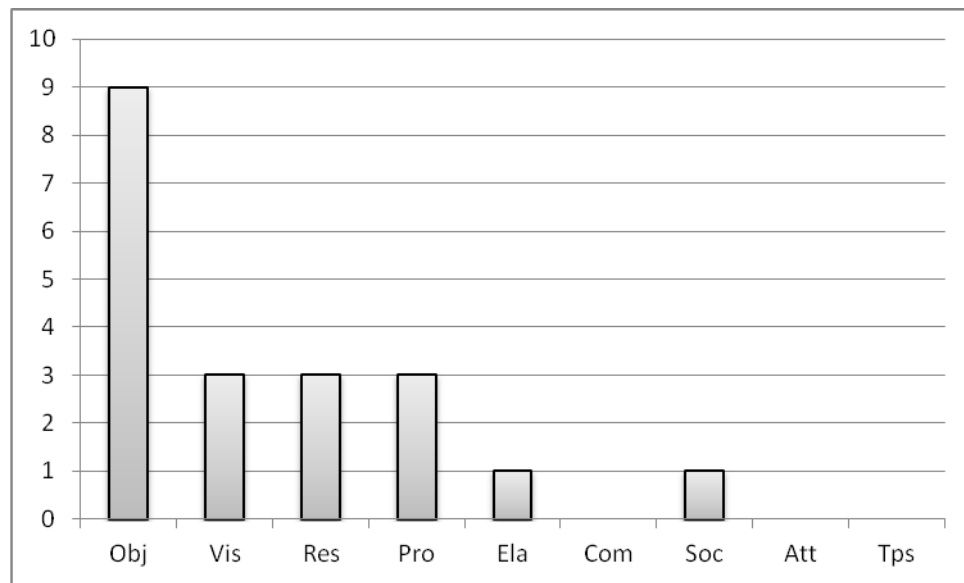


Figure 17 : selon vous, quels arguments ont été avancés par les scientifiques au XVI^e-XVII^e siècle en faveur de l'héliocentrisme ?

Pour cela, nous analysons la structure de la réponse en nous intéressant aux registres employés, mais aussi aux dimensions de la *NoS* et aux catégories correspondantes. Par exemple, dans la réponse de Gersende : « *Le Soleil est un astre ; toutes les autres planètes ainsi que la Terre n'est pas logique qu'elles tournent autour de la Terre. Elles tournent alors autour du "seul" astre.* », la phrase contient plusieurs dimensions, des plus simples à coder, comme « *objets d'étude* » (« *le Soleil et les planètes* ») et « *produits* » (« *Elles tournent alors autour du "seul" astre* »), à la plus complexe à interpréter, comme les « *Visées et caractéristiques générales de la science* » avec le présupposé (renforcé par le mot « *logique* ») selon lequel toutes les planètes se comportent de la même façon : elles sont en orbite autour du Soleil. Dans l'ensemble, nous comprenons que les planètes ne peuvent pas tourner autour de la Terre puisqu'implicitement la Terre est elle-même une planète (ce que Gersende n'écrit pas). Cette idée présuppose que des objets de même nature ont les mêmes propriétés. Les sous-dimensions se rapportant sont « *types d'objet* » et « *intellectuel* » et les catégories sont « *phénomène* » et « *connaissance* ».

Un autre exemple est la réponse de Pierre-Louis : « *La religion, la Terre n'aurait pu être placée par Dieu ailleurs qu'au centre. Diverses observations, mais approximatives et réalisées avec du mauvais matériel semblaient aller dans ce sens* ».

L'activité d'observation est à considérer dans la dimension « *Élaboration en sciences* » et dans la sous-dimension « *activités* ». Ne pourrions-nous pas aussi considérer que ce sont des ressources pour l'élaboration du résultat ? Dans ce cas, ne sont-elles que matérielles ? Cette phrase englobe au moins quatre dimensions : « *objets d'étude* », « *ressources* », « *Visées et caractéristiques générales de la science* » et « *Société* » (registre religieux et scientifique non dissocié). Par ailleurs, les sous-dimensions sont « *types d'objet* » et « *types de ressources* » et les catégories sont « *phénomène* » et « *ressources matérielles* ».

Les dimensions « *objets d'études* » et « *produits* » complètent la liste des cinq dimensions les plus représentées dans les réponses des élèves. Pour simplifier, les dimensions, sous-dimensions et catégories majoritairement évoquées sont « *Objets d'étude* », « *types d'objet* » et « *phénomène* ». Par exemple, « *L'étude du mouvement des planètes* » (Antoine) est de l'ordre des phénomènes. Il semble possible de voir les planètes se déplacer au cours du temps par rapport aux étoiles. Un phénomène, que nous percevons par les sens, est observable, quantifiable et mesurable. Toutefois, nous ne pouvons pas percevoir, comme l'affirme Emeric, « *Le schéma de déplacement du Soleil gravitant autour de la Terre* » ni même les « *Lois de Kepler* » (Yasser). Emeric répond à partir du schéma qu'il a en tête. Ces phrases relèvent du domaine explicatif et théorique. D'ailleurs, les élèves peuvent associer le monde des phénomènes avec celui des idées comme Benjamin qui écrit « *Le phénomène des saisons (inclinaison de l'axe terrestre) l'observation des autres planètes (recul de Mars)* ». Dans sa réponse, des aspects empiriques sont associés avec des éléments théoriques, sans établir de lien. Ainsi, comment montrer qu'il existe des interactions entre les phénomènes et la théorie ?

Selon ce codage, les liens apparaissent, par exemple, dans « *Objets d'étude* » avec les phénomènes et « *produits* » avec les connaissances. Dans l'ensemble, les réponses évoquent majoritairement la dimension « *Objets d'étude* », mais aussi quelques réponses portent uniquement sur « *théorie-connaissance* », ce qui renvoie à un résultat sur la modélisation : la difficulté à tenir compte des deux registres et à faire des liens. Lorsque Manon répond que « *Les scientifiques ont expliqué le phénomène de l'ellipse* », l'objet des scientifiques n'est plus le phénomène, mais l'ellipse. Il s'agit bien d'une sous-dimension « *types d'objets* » de la catégorie « *théorie* » (elle

explique le phénomène de l'ellipse). Cependant, l'héliocentrisme va de pair avec le mouvement elliptique contrairement au géocentrisme. Le mouvement observé est héliocentrique. C'est l'héliocentrisme qui triomphe. Manon en fait une sorte d'expérience cruciale et un enthymème.

Finalement, les réponses codées dans la dimension « *objets d'étude* » appartiennent soit à la catégorie « *Phénomènes* », soit à celle des « *Lois, modèles, théories, concepts* ». Les dimensions (sous-dimension et catégorie) en lien avec la théorie comme les « *produits* » et les « *ressources* » sont moins présentes, ce qui renvoie à une vision empiriste. Par ailleurs, nous ne notons que quelques réponses qui concernent les « *ressources* », plus précisément matérielles, comme Charles, qui le justifie « *grâce à l'avancée technologique* ». Enfin, peu de réponses se rapportent aux dimensions « *Visées et caractéristiques générales de la science* » et « *présupposés* ». Il reste important de noter que, dans cette question, les élèves ne prennent pas en compte la dimension « *communauté* », autrement dit les interactions entre les personnes. Au-delà de concevoir la preuve en sciences comme une articulation entre le monde théorique et le monde empirique, les élèves ne perçoivent pas que le résultat soit de l'ordre de la construction intellectuelle. Selon cette vision des sciences moins riche et moins complexe, les hommes ne sont pas parties prenantes à cette construction.

1.1.2 Est-ce que d'après vous un bon physicien est quelqu'un qui observe d'abord ?

Cette question porte d'abord sur la place accordée à l'observation dans la démarche scientifique, en d'autres termes, l'existence de règles d'élaboration et les qualités nécessaires pour être un scientifique. Nous retenons que les scientifiques peuvent adopter plusieurs démarches possibles. Parmi celles-ci, citons les expériences indirectes très instrumentées, l'expérience de pensée, la théorie qui précède l'expérience, mais également les développements techniques qui sont à l'origine de nouveaux faits expérimentaux et de modèles scientifiques. D'une manière ou d'une autre, la dimension théorique reste première que ce soit conscient ou non.

L'observation elle-même implique une théorie qui conditionne ce qu'elle sélectionne ou non.

Sur le plan de la séquence, la réponse souhaitée reste donc « *non* », en justifiant que ce n'est qu'un moyen parmi plusieurs méthodes possibles et qu'une seule méthode ne permet pas de saisir tous les aspects de la démarche scientifique. Il semble probable que les élèves pensent que l'observation prime. Ils peuvent la concevoir comme une expérience sensible et chercher à répondre que les théories résultent de l'observation et/ou de l'expérience première. Nous nous attendons à ce que l'image courante des élèves de la pratique scientifique reste en partie empiriste.

1.1.2.1 L'image courante de la pratique scientifique semble empiriste

Les réponses brutes à cette question montrent que la grande majorité des élèves (77 %) s'accordent pour affirmer que l'activité du physicien commence par l'observation. Ainsi, ces résultats semblent clairement indiquer que des élèves conçoivent l'expérience sensible comme étant à l'origine de toute connaissance.

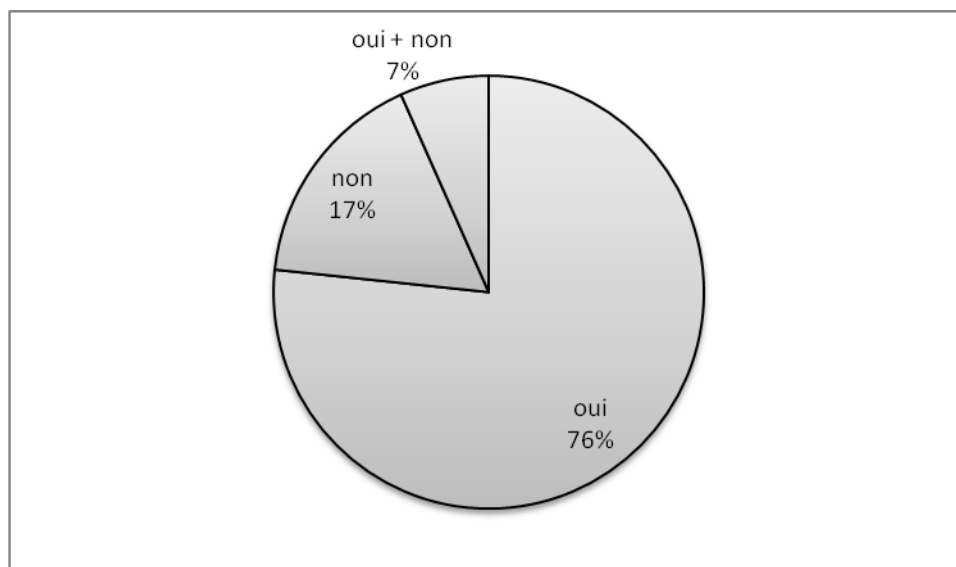


Figure 18 : est-ce que d'après vous un bon physicien est quelqu'un qui observe d'abord ? (N=30)

Environ un tiers d'entre eux utilisent des expressions, comme « *il faut* » ou « *il doit* ». Tandis que les autres élèves répondent de manière plus nuancée. Ainsi les discours sont de natures différentes. La question reste normative, car, implicitement, une norme existe sur la définition d'un bon physicien. Cela explique que de nombreux

d'élèves abordent cette question de cette manière. Par ailleurs, la quasi-totalité des élèves (90 %) parle de quelqu'un en général comme un scientifique ou un physicien. Ils s'appuient sans doute sur des exemples qu'ils ont en tête, mais ils ne les explicitent pas tous. Par contre, il est frappant de constater que plusieurs élèves donnent des exemples de scientifiques comme Archimède, Galilée ou Newton, alors que d'autres (10 %) préfèrent parler de la physique.

1.1.2.2 Le nombre et la nature des démarches

Dans le cadre de cette question, nous nous sommes intéressés aux démarches évoquées par les élèves. Les réponses ne mentionnent qu'une seule démarche, mais elles renvoient à des idées légèrement différentes.

Réponse	Oui	Non	Oui + non
N'en parle pas	3 %	0 %	0 %
Une seule démarche commençant par l'observation	60 %	0 %	0 %
Une seule démarche, mais nuancée	13 %	3 %	7 %
Une seule démarche commençant par la théorie	0 %	7 %	0 %

Tableau 23 : Les démarches évoquées par les élèves (N=30)

Pour la quasi-totalité des élèves qui ont répondu « oui » à cette question, il n'existe qu'une seule démarche : il faut toujours commencer par l'observation. Comme nous pouvons le constater dans les propos suivants, certaines visions relèvent de l'empirisme. Charles, par exemple, affirme que : « *C'est lorsqu'on observe qu'on découvre des choses* » et Mélissa justifie en ajoutant que « *C'est suite à ses observations qu'il propose des explications* ».

Les élèves qui répondent « non » proposent une démarche commençant par la théorie. Benjamin écrit que « *Le physicien doit d'abord réfléchir à ce qu'il veut prouver, puis établir un protocole et enfin observer* ». Cette réponse correspond ainsi à une vision plus éclairée et informée, comme celle d'Antoine : « *Pas forcément, il faut d'abord avoir une théorie pour pouvoir l'affirmer ou l'infirmer grâce aux observations qui doivent être très précises et centrées sur le sujet* ».

Néanmoins, deux élèves ont une réponse du type « *cela dépend* », plus proche d'une vision nuancée que d'une vision naïve. Dans un tel cas, ce type de discours est qualifié de modale, comme celui de Julien, bien qu'il n'évoque pas la théorie : « *Un physicien qui observe d'abord verra peut-être plus au premier abord qu'un physicien qui expérimente directement. Tout dépend du sujet. Parfois pratique > observation ou observation > pratique* ».

Dans un tout autre ordre d'idée, Marine répond « *oui* » à la question, mais en argumentant sur la notion de risque d'erreur manifeste : « *L'observation est la base de l'explication, mais l'observation peut-être fausse, il ne faut donc pas se fier seulement à l'observation* ».

Dans cette démarche, l'observation joue un rôle plus ou moins important. Nous présentons la place de l'observation dans le tableau suivant, selon quatre catégories : n'en parle pas ; l'observation vient en premier dans la démarche ; l'observation valide la théorie et l'observation et la théorie sont complémentaires.

Place de l'observation dans démarche	code	Pourcentage (N=30)
N'en parle pas	Obs.0	3 %
L'observation est première	Obs.1	70 %
L'observation valide la théorie	Obs.2	10 %
L'observation et la théorie sont complémentaires	Obs.3	17 %

Tableau 24 : Codage « *Observation/théorie* »

Plus des deux tiers des élèves (70 %) considèrent que l'observation est plus importante et ce résultat montre clairement que notre séquence a un sens par rapport à l'objectif observation et théorie. Cette importance de l'observation chez les élèves correspond à l'une de nos hypothèses de recherche.

1.1.2.3 La nature des dimensions

Pour cette question relative à la *NoS*, les élèves évoquent 1,6 dimensions en moyenne. Le tableau suivant montre que, chez les élèves, les deux dimensions les plus représentées sont l'« *élaboration en sciences* » et les « *objets d'étude* ».

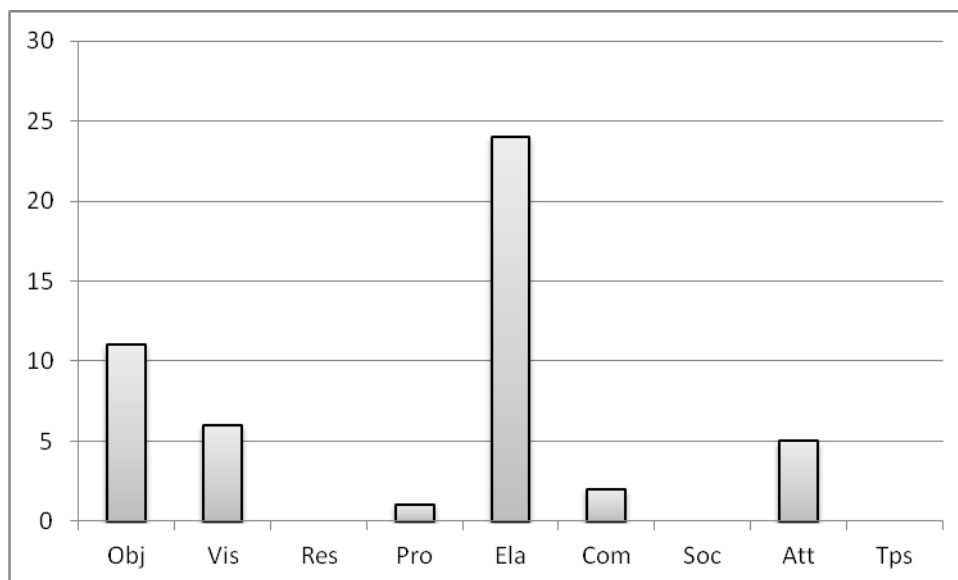


Figure 19 : la répartition des dimensions

Pour illustrer la dimension « *Élaboration en sciences* », nous prenons l'argument de Nacer qui répond « *On est obligé d'observer quelque chose afin de proposer une hypothèse* ». Le terme « *hypothèse* » se rapporte à l'« *élaboration en sciences* » avec l'idée d'une norme, où le verbe « *obligé* » renvoie à une règle et des valeurs associées. De la même manière, Lucile emploie l'expression « *pour établir des hypothèses* » qui se classe aussi sans difficulté dans cette même dimension.

Toutefois, certaines argumentations, comme celle de Blandine, font un lien entre la théorie et les expériences puisqu'elle ajoute qu'« *Il privilégie la théorie et les expériences pour expliquer la réalité* ». Cette phrase peut, certes, se classer dans l'« *élaboration en sciences* », mais également dans les « *visées et caractéristiques générales de la science* », car l'objectif est de parvenir à expliquer la réalité. Ainsi, nous classons différentes parties de phrase et les unités d'analyse vont dans différentes dimensions.

D'autres élèves font aussi allusion aux qualités, comme la phrase de Yasser : « *Il y a des limites aux sens, ainsi les physiciens font des inventions, comme les télescopes pour regarder toujours plus loin.* » Comme ce sont des limites qui se rapportent à la personne, elles se classent dans la dimension « *attitude* ». Ce sont les qualités qui caractérisent les personnes. En d'autres termes, les scientifiques ont des qualités qui sont plus ou moins aiguës. En plus, une partie de la phrase se situe dans la dimension « *produits* » (inventions, télescopes), et aussi dans les « *visées et caractéristiques générales de la science* » (toujours plus loin).

1.1.3 Deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ?

Dans le cadre de cette question, nous avons souhaité vérifier l'ancrage théorique ou conceptuel de l'observation. S'agit-il d'un phénomène objectif ou d'un fait scientifique qui n'est pas neutre, mais conçu dans le but de confirmer ou d'infirmer une théorie particulière ? L'observation reste toujours chargée de « *théorie* » donc aussi dans le cas d'un autre type de démarche.

La réponse correcte sur le plan épistémologique reste « *oui* », en expliquant la prééminence de la théorie sur l'observation. Deux scientifiques qui n'ont pas nécessairement le même cadrage théorique (un cadrage conceptuel et pas uniquement les ressources physiques) ne proposent pas nécessairement la même explication.

Au niveau des élèves, nous pouvons nous attendre à des réponses « *naïves* » d'un phénomène directement observable. Elles sous-tendent l'idée d'une réalité indépendante de l'observateur. Pourtant, la question que nous posons ici porte principalement sur l'élaboration, mais il reste possible que les élèves répondent par rapport aux savoirs.

1.1.3.1 Les élèves disent majoritairement « oui »

Il est frappant de constater que la quasi-totalité des élèves (97 %) répond « *oui* ». La seule réponse « *non* » est celle de Mélissa qui reste vraiment singulière : « *Le*

phénomène est la preuve faite par l'œil. Elle est donc interprétée d'une seule manière possible ».

Comment les élèves justifient-ils leur position ? Nous pouvons nous demander si les réponses renvoient à l'idée qu'il pourrait (ou devrait) exister une seule explication dans certaines conditions, par exemple, que les scientifiques ne se trompent pas, ou qu'ils ont réussi à mettre de côté leur subjectivité.

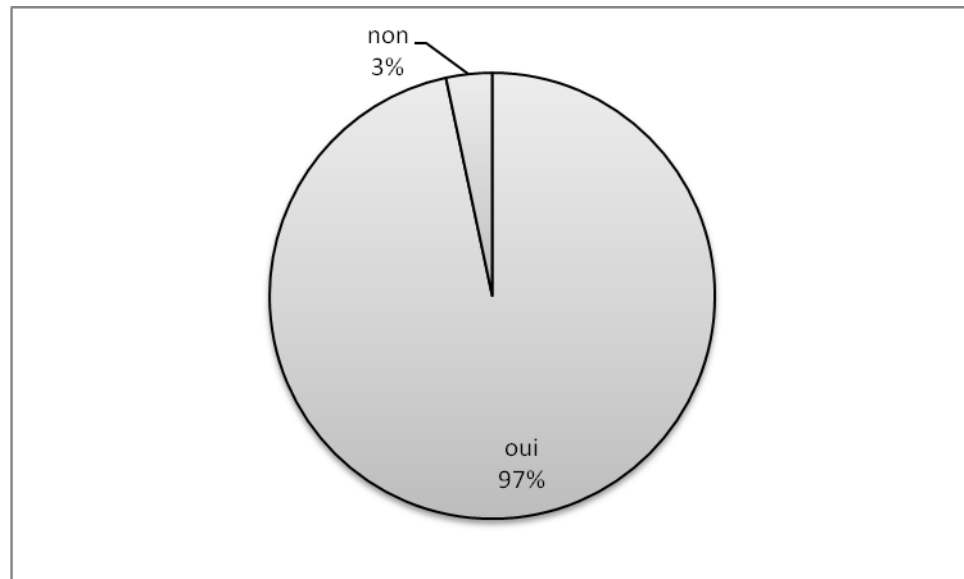


Figure 20 : deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ?

Dans leurs justifications, un peu moins de la moitié des élèves (43,3 %) nuance leurs réponses par l'emploi de modalisateurs comme « *tout dépend* », « *ils peuvent* » ou « *il peut y avoir* ». De manière générale, ces expressions marquent l'idée d'une possibilité. Certains mots utilisés, comme « *positionnement* » ou « *point de vue* » ne sont pas simples à interpréter et il est difficile de généraliser : s'agit-il d'un positionnement dans l'espace ou d'un point de vue intellectuel ? Cependant, en grande majorité, les réponses font apparaître deux aspects, de par leur nature, distincts : l'ancrage théorique de l'observation et le rapport à la réalité. Chacun de ces aspects est étudié ci-dessous.

1.1.3.2 L'observation et le rapport à la réalité

Au travers des réponses, nous pouvons distinguer trois façons d'associer phénomène, observation (vision, vue) et interprétation (explication).

Mélissa est la seule élève qui suppose que l'observation est la même pour tout le monde (un objet et un « *regard* ») avec une seule interprétation possible. Elle ne semble pas dissocier le phénomène de l'observation et de son interprétation. L'observation semble transparente, sans aucune perception et le modèle décrit la réalité telle qu'elle est.

Quelques réponses (17 %) se rapportent à des observations différentes (des « *regards différents* ») et des interprétations différentes. Ces élèves évoquent « *empirie et théorie* ». Les « *regards* » différents peuvent être liés à des perceptions différentes, à des positions (ou des points de vue) différentes (nous ne voyons donc pas le même objet), à des erreurs de vision (les deux « *erreurs* » semblent plutôt associées à l'interprétation). A chaque observation correspond une seule interprétation.

Toutefois, dans leur grande majorité, les élèves (73 %) évoquent un phénomène, une observation, souvent sous-entendue, et des interprétations différentes.

Raisonnement	Pourcentage (N = 30)
N'en parle pas	7 %
un phénomène, une observation, une interprétation	3 %
un phénomène, des observations différentes, des interprétations différentes	17 %
un phénomène, une observation, des interprétations	73 %

Tableau 25 : l'observation et le rapport à la réalité

1.1.3.3 Des activités intellectuelles différentes

Pour se positionner, les élèves soulèvent plusieurs arguments pouvant être pris en considération.

1.1.3.3.1 Cadre intellectuel ou façon de penser : le « monde des idées »

Près d'un tiers des élèves évoque le cadre intellectuel dans lequel travaillent les scientifiques. Leurs réponses se rapprochent d'une réponse citée par Schwartz, Norman G. et Judith S. Lederman (2008) : « *Non, ils peuvent avoir un point de vue différent sur ce qui s'est passé et pourquoi cela s'est passé.* ». Les réponses de Nacer : « *Tout dépend du positionnement des deux physiciens* » et d'Eméric : « *La façon de penser n'est pas universelle* » semblent assez voisines. Ce n'est pas tant l'attitude, mais plutôt l'interprétation du chercheur qui est mise en avant. Affirmer qu'une observation n'est pas neutre, suppose nécessairement un jugement de valeur. Nacer partage également l'idée qu'il ne travaille pas seul, mais dans une communauté. Plusieurs scientifiques n'ont pas forcément tous une attitude identique ni les mêmes positions vis-à-vis de leurs recherches. Dans ce cadre, trois élèves précisent en plus le rôle de l'ancrage culturel, comme Antoine : « *Chacun interprète à sa façon les informations qu'il reçoit selon la culture, la religion ou le passé* ».

1.1.3.3.2 Regards ou visions différentes du « monde empirique »

Par ailleurs, trois élèves proposent le même type de justification en lien avec l'œil ou l'instrument. Soit, les chercheurs regardent, comme l'écrit Julien « *Deux physiciens ne regardent pas pareil un même phénomène, ils l'interprètent donc différemment* ». Soit, ils observent, comme pour Mary « *Il suffit aux physiciens d'observer le phénomène d'un point de vue différent* ». Cela me semble assez voisin sauf que Julien va plus loin en associant point de vue différent et interprétation différente. Soit, l'œil joue un rôle prépondérant, comme l'explique Mélissa : « *Le phénomène est la preuve faite par l'œil. Elle est donc interprétée d'une seule manière possible* ». La différence est que Julien et Mary explique qu'un phénomène peut être regardé différemment, tandis que Mélissa pense qu'un phénomène ne peut être regardé que d'une seule façon.

1.1.3.3.3 Coexistence d'explications

Au lieu de faire référence aux physiciens et à leurs activités, plusieurs élèves évoquent les savoirs scientifiques avec des réponses plus ou moins justifiées. Ainsi, certains d'entre eux font le lien avec les connaissances qu'ils ont acquises et ils mettent en avant la coexistence d'explications. Pour un même phénomène, ils

associent plusieurs explications, comme Mathieu, qui écrit qu'« *Il peut y avoir plusieurs explications à un même problème. Par exemple, on voit le Soleil dans le ciel tourner autour de la Terre et certain l'explique du fait de l'orbite de la Terre autour du Soleil et d'autre du fait de l'orbite du Soleil autour de la Terre* ». De la même manière, Richard ajoute qu'un phénomène (lumineux) correspond à deux modèles : « *L'exemple de la lumière illustre ce fait. En effet, la lumière est à la fois onde et matière. Les deux explications sont aussi vraies l'une que l'autre* ». L'objet d'étude est la lumière et le terme « *vrai* » indique clairement un rapport à la réalité des savoirs scientifiques. Richard et Matthieu proposent tous les deux des exemples et des explications assez voisines, mais Richard va un peu plus loin, car il précise : « *Les deux explications sont aussi vraie l'une que l'autre* ». Bien que Yasser ne développe pas sa réponse, nous rapprochons sa formule « *Avec la lumière* » avec celle de Richard.

1.1.3.3.4 L'erreur

Enfin, deux élèves ont une vision différente que ces réponses sous-entendent dans l'activité de recherche. Marine met en avant les erreurs scientifiques : « *Ils peuvent se tromper et donner une mauvaise explication au phénomène* ». Jérémy précise un type d'erreur (se trompe, oublie) « *Ils peuvent avoir une interprétation différente des forces en jeu, oublier un élément...* ». Cet argument fait appel à deux aspects : l'interprétation sans critère d'observation et l'oubli. Il établit un lien entre l'élaboration et le produit, cependant il ne propose pas d'explication. Ces élèves considèrent que les explications sont différentes, parce que les scientifiques se trompent ou oublient quelque chose. Ce problème appelle plus ou moins le même type de réponse. Le tableau suivant recense les types d'argument évoqués et leur fréquence :

Argument	nombre
Pas d'argument	1
Cadre intellectuel ou façon de penser	20
Regards ou visions différentes	5
Coexistences d'explications	4
Contexte sociétal (historique ou culturel)	3
L'erreur	2

Tableau 26 : Les arguments avancés à la question « deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ? »

Finalement, nous pouvons nous demander si les réponses fournies à cette question ne sous-entendent pas qu'il existe une réalité indépendante de l'observateur, réalité interprétée différemment car le cadre intellectuel est différent ou que les scientifiques se trompent.

1.1.3.4 La nature des dimensions

Les élèves font appel à 1,7 dimension en moyenne et les trois dimensions les plus représentées sont la « communauté », les « objets d'étude » et l'« élaboration en science ».

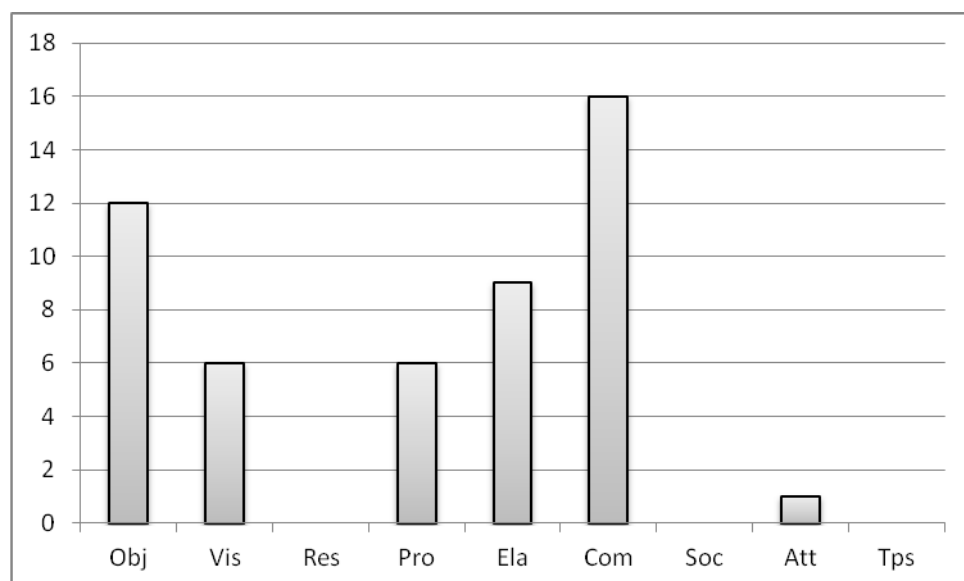


Figure 21 : deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ?

Clément rapporte, par exemple, que « *Tout le monde ne résonne pas de la même manière. Il y a de nombreuses théories par exemple sur le déclenchement du big-bang* ». La première partie de sa réponse porte sur la dimension « *communauté* », car les scientifiques ne raisonnent pas de la même façon. L'exemple du modèle cosmologique s'inscrit à la fois dans la dimension « *objets d'étude* » (« *déclenchement du big-bang* ») et dans la dimension « *produits* » (« *de nombreuses théories* »).

La dimension « *communauté* » met l'accent sur l'idée qu'un scientifique ne travaille pas seul. Chaque fois que les élèves n'évoquent que des différences entre des personnes (ancrage conceptuel, pas tous d'accord, ne pensent pas la même chose), nous les avons classés dans la dimension « *communauté* ». Matthieu indique que « *Chaque physicien n'a pas forcément vu ou interprété la même chose* », ce qui est très proche de la réponse de Fanny : « *Chacun réfléchi différemment* ». Rudy le formule différemment : « *Ils n'auront pas forcément la même façon de penser et aboutiront chacun à une explication différente* ». Il met en relation la dimension « *communauté* » et « *produit* ». L'explication correspond à la dimension « *produit* », mais la communauté scientifique compte plusieurs chercheurs qui pensent et observent différemment et arrivent ainsi à des interprétations différentes.

Un scientifique commet aussi des erreurs et Marine explique ainsi qu'« *Ils peuvent se tromper et donner une mauvaise explication au phénomène* ». Elle défend l'idée que les scientifiques n'ont pas été assez précis ou ils ont commis une erreur. Ils proposent une explication, mais nous ne savons pas ce que serait une « *bonne* » explication. Le mot « *mauvaise* » reste imprécis et, selon son interprétation, il peut recourir à plusieurs dimensions, telles que l'« *Élaboration* » (activité, intellectuelle), l'« *attitude* » ou les « *Visées et caractéristiques* » (une « *bonne* » explication). Marine ne l'affirme pas explicitement, mais nous pouvons faire l'hypothèse qu'elle suppose qu'une réalité existe et qu'il faut que l'explication soit bonne.

Finalement, ces réponses mobilisent une communauté scientifique hétérogène dans laquelle des désaccords entre chercheurs sur les explications apparaissent à un instant donné. La notion de consensus n'apparaît vraiment que chez Mélissa : « *Les deux*

physiciens n'interprètent pas leur observation de la même manière. C'est de là qu'ils vont se concerter et se mettre d'accord ». La question reste de savoir comment nous passons d'une explication à une autre. Comment arrivons-nous à décider ? Ces interrogations font l'objet de la question suivante.

1.1.4 Lorsqu'une explication est mise en défaut par une observation est-elle abandonnée par les physiciens ?

La réponse attendue à cette question est « *non* », notamment pour des valeurs de conservatisme selon Soler (2009). Les physiciens restent sur leur position en attendant de nouvelles avancées. Une observation ne suffit pas pour complètement abandonner ou pour restreindre le domaine de validité. Ils gardent l'observation et adaptent localement la théorie suivant une hypothèse ad hoc.

Nous attendons que les élèves répondent qu'il n'existerait jamais de nouvelles théories si nous devions les abandonner chaque fois qu'elles sont contredites par l'expérience. Nous envisageons que les élèves soutiennent, plutôt naïvement, que les physiciens abandonnent l'explication. Néanmoins dans l'esprit des élèves, les connaissances scientifiques sont relativement robustes et les explications sont conservées. Nous pouvons donc nous attendre à une vision plus riche du type « *Cela dépend* » avec des échanges entre scientifiques (aspect communauté) et des évolutions des théories confuses. Les élèves peuvent être alors partagés entre le conservatisme et le progrès. Cette position rejoint « *la tension essentielle* » de Kuhn (en particulier le chapitre « *Objectivité jugement de valeur et choix entre théories* »).

1.1.4.1 Les scientifiques et les évolutions des théories

La quasi-totalité des élèves pense qu'une explication n'est pas abandonnée par les physiciens lorsqu'elle est mise en défaut par une observation. Le lien de dépendance entre la théorie (avec tout ce qui l'influence) et l'observation semble confus. Ils reconnaissent tous qu'il ne suffit pas de se fier aux observations pour mettre en défaut une explication physique. Cependant, l'idée de conservatisme des scientifiques, liée peut-être à celle de robustesse des savoirs, semble parfois en jeu, comme dans la réponse de Pierre-Louis : « *Certains physiciens cherchent une explication à la mise*

en défaut de leur précédente explication. Ils peuvent complexifier leur modèle pour qu'il corresponde aux observations ».

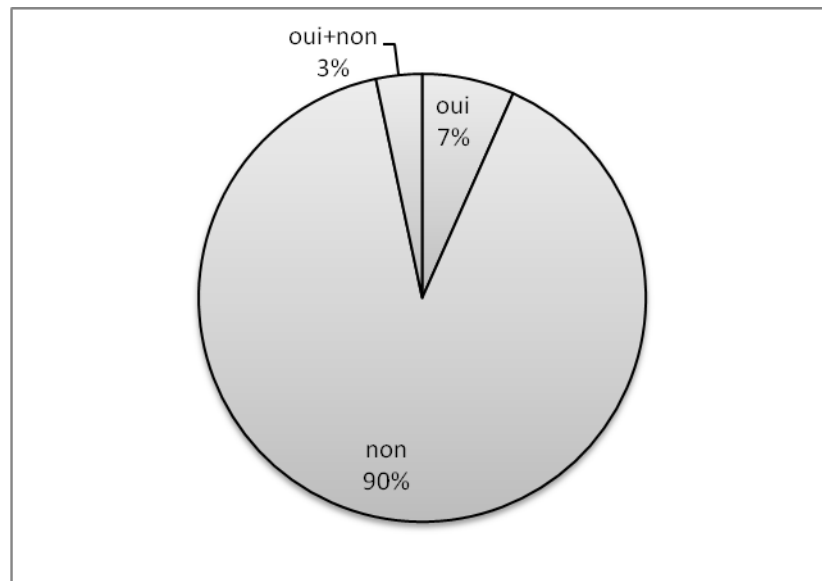


Figure 22 : lorsqu'une explication est mise en défaut par une observation est-elle abandonnée par les médecins ? (N=30)

1.1.4.2 Les arguments avancés

Les réponses argumentées des élèves se rapprochent des cinq catégories de réponses du questionnaire de Maurines *et al.* : « *Lorsqu'une explication est mise en défaut, les chercheurs [...]* ». Dans la majorité des cas, une réponse se code par un de ces items, mais quelques fois les réponses d'élève ne se limitent pas à une seule catégorie. Nous sommes donc amenés à augmenter le nombre de catégories. Nous comparons ensuite les réponses entre elles pour vérifier la stabilité du codage. Les résultats de cette analyse sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Items concernés	Pourcentage (N=30)	Items regroupés	Pourcentage (N=30)
<i>Abandonnent l'explication</i>	3 %	<i>Évolution de l'explication</i>	13 %
<i>Proposent une nouvelle explication</i>	10 %		
<i>mettent en cause les résultats</i>	26 %	<i>Stabilité de l'explication</i>	56 %
<i>mettent en cause les résultats + tentent de les reproduire</i>	7 %		
<i>Restent sur leur position</i>	0 %		
<i>Restent sur leur position en attendant de nouvelles avancées</i>	23 %		
<i>Utilisent l'explication en restreignant son champ d'application</i>	30 %	<i>Certaine robustesse de l'explication (évolue, mais pas abandonnée)</i>	30 %

Tableau 27 : les principales idées de l'argumentation

Les réponses fournies à cette question semblent très proches de celles obtenues par Schwartz, Norman G. et Judith S. Lederman (2008) :

« Les scientifiques rencontrent parfois des résultats incohérents (des informations anormales).

(a) Comment les anomalies sont-elles identifiées en science ? (C'est-à-dire ce qui est considéré comme "incohérent" dans la recherche scientifique) Donnez un exemple, si possible.

(b) Que pensez-vous que les scientifiques font quand ils trouvent une anomalie ?

(c) Pensez-vous que tous les scientifiques identifient et traitent des informations anormales de la même façon ? Pourquoi ou pourquoi pas ?

(d) Comment les élèves identifient-ils et traitent-ils les anomalies (données incohérentes) en classe de sciences ?

(e) *Pensez-vous que les étudiants et les scientifiques traitent les anomalies de la même manière ? Expliquez.* » (Schwartz, R.S., Lederman, N.G., Lederman, J.S., 2008, p. 18)

Les deux explications données par les physiciens peuvent être considérées comme une anomalie. Les élèves répondent essentiellement sur « *Développer une nouvelle théorie* » et non pas par rapport à la répétition du test. Les élèves ne se placent pas non plus dans la partie « *on ignore* ». Les réponses montrent en quelque sorte, la conception du progrès et la place des contradictions.

Certains élèves sont catégoriques, comme Nacer. Il répond « *non* » en justifiant qu'« *on essaie de trouver une autre observation pour la prouver* ». Autrement dit, les physiciens questionnent ce qui a été trouvé ou ce qui a été observé et ils tentent de les reproduire. Nacer rajoute « *ou de modifier quelque chose pour que ça fonctionne* ». Les physiciens cherchent dessus, mais nous ne savons pas trop ce qu'ils font et d'ailleurs la réponse reste trop générale pour le savoir. Vont-ils restreindre l'explication ? Proposer une explication partielle ? Nacer se place du côté de la théorie et son argumentation tient principalement en deux points : « *mettent en cause les résultats et tentent de les reproduire* » et « *Proposent une nouvelle explication* ». Inès explique qu'« *En effet, une expérience n'est pas abandonnée par une observation, elle peut être remise en cause. C'est une expérience qui va pouvoir abandonner une théorie, en trouvant une autre théorie* ». Cette argumentation n'est pas très cohérente puisqu'il semble qu'Inès établit une distinction entre expérience et observation. Elle semble vouloir dire que lorsqu'un problème ou une anomalie se pose en observant, les physiciens visent le même but : de trouver une explication. Ils cherchent alors à réaliser une expérience pour tester la nouvelle théorie. Cette argumentation semble beaucoup plus riche que les items de réponse à cocher dans une question fermée proposée par Maurines *et al.*

1.1.4.3 Le rapport du modèle à la réalité

La question ne porte pas explicitement sur le rapport du modèle à la réalité, mais nous retrouvons dans les réponses quelques indications à ce sujet. Elles relèvent des six catégories indiquées dans le tableau ci-dessous :

Rapport modèle à la réalité	Pourcentage (N=30)
N'en parle pas	47 %
Le modèle décrit la réalité	3 %
Observation peut être fausse (implicitement idée qu'une bonne observation décrit la réalité telle qu'elle)	27 %
Le modèle a des limites et il décrit la réalité localement	10 %
Le modèle ne décrit pas la réalité telle qu'elle est (autrement dit, il y a toujours une part de « <i>subjectivité/ancrage culturel et physiologique</i> » dans les théories)	13 %
Le modèle a des limites et ne décrit pas la réalité	0 %

Tableau 28 : codage « *Rapport modèle à la réalité* »

Parmi les 53 % d'élèves qui évoquent ce rapport, les réponses se divisent en deux grandes catégories : soit le modèle représente la réalité, soit il ne la décrit pas. Ainsi, la grande majorité de ces élèves (40 %) partage le point de vue dominant selon lequel le modèle décrit la réalité.

Malgré un taux important d'absence de justification (47 %) sur ce rapport, ces résultats peuvent être considérés comme des indices pour s'orienter vers une piste de recherche future. Nous les mettons dans les chapitres suivants en relation avec les schémas et le carnet de bord. En effet, les élèves mettent en avant certaines difficultés, mais souvent ils n'ont pas conscience de celle liée aux phénomènes et à la théorie.

1.1.4.4 La nature des dimensions

Dans l'ensemble, la dimension « *élaboration en sciences* » demeure la plus représentée dans cette question, soit 16 occurrences (53,3 %) et peu d'élèves évoquent la « *communauté* ». Les résultats sont représentés dans l'histogramme ci-dessous.

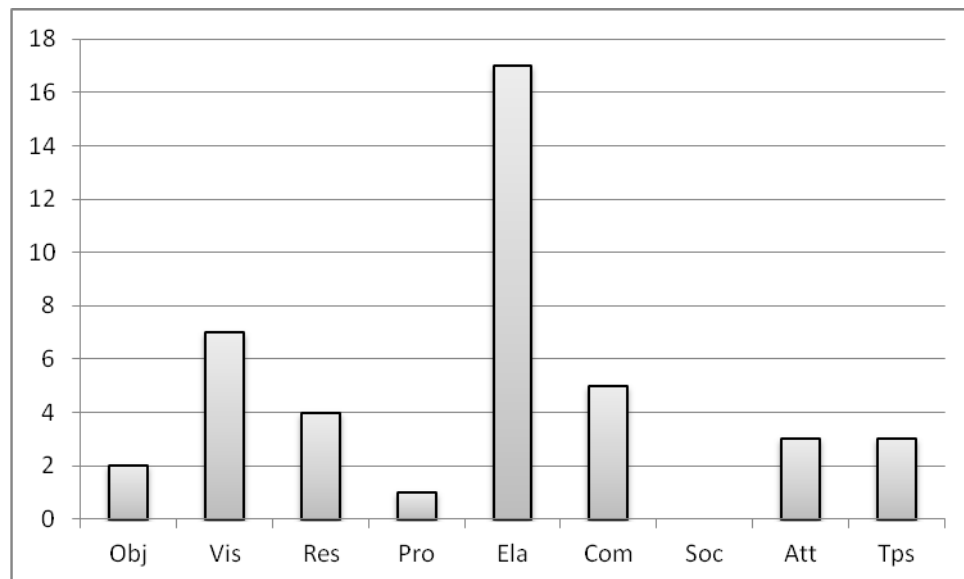


Figure 23 : lorsqu'une explication est mise en défaut par une observation est-elle abandonnée par les physiciens ?

La principale difficulté à catégoriser par les dimensions tient en partie aux termes ou aux qualificatifs qui peuvent apparaître dans différentes dimensions. Affirmer, par exemple, que la science cherche la simplicité correspond à la dimension « *Visées et caractéristiques* », car il s'agit de « LA » science et la simplicité demeure une valeur généralement partagée par les scientifiques. Du côté du processus d'élaboration, nous sommes amenés à classer certaines réponses dans « *élaboration* » quand les scientifiques font le choix entre deux explications. Des idées sont communes, mais elles sont formulées de manières différentes. Ainsi, dire qu'un scientifique doit être précis est une qualité individuelle, alors que dire qu'« *une théorie est précise* », caractérise la théorie par rapport aux résultats expérimentaux. Un même mot caractérise un produit ou les sciences, autrement dit, le processus d'élaboration, ou encore les qualités de la personne pour arriver au résultat final.

1.1.4.4.1 L'explication : Domaine de validité et règles d'élaboration

Les justifications de ces réponses tendent à montrer que l'explication doit être confirmée. À cela s'ajoute l'idée d'un domaine de validité qui n'est pas nécessairement explicite. Pour Jérémy, l'explication n'est pas totalement confirmée : « *Cela ne pourrait être qu'un cas particulier, ou peut être que l'explication n'est qu'en partie correcte et qu'il y a juste eu un oubli* ». Il semble penser qu'il s'agit d'un cas particulier, sans plus de précision. En tout cas, ce n'est pas tout de suite. Il admet qu'une explication ne rend pas compte de toutes les observations. Nous nous

demandons s'il considère qu'une théorie doit tout expliquer. Est-ce qu'il envisage d'avoir une nouvelle explication pour pouvoir rendre compte de cette observation problématique ? Il s'agit de la dimension « *Élaboration en sciences* » avec une règle ou une exception possible. Par contre, il envisage que l'explication puisse être en partie correcte sur le champ d'application et nous retrouvons bien l'idée que les physiciens utilisent l'explication en restreignant son champ d'application.

Les élèves semblent estimer que l'observation n'est pas abandonnée. Même si quelques-uns répondent « *oui* », comme Mélissa, pour qui « *Elle doit marcher dans un cas général* ». La réponse reste vraiment problématique et cette expression « *dans un cas général* » paraît un peu curieuse, comme si une explication était déconnectée du réel. Elle n'est pas reliée à des phénomènes, comme si elle était décontextualisée, une situation idéale, quasiment « *hors-sol* ». Cette justification tend à montrer qu'« *ils restent sur leur position* », autrement dit l'explication est gardée, mais pas forcément en attendant de nouvelles avancées. Elle semble bien en contradiction avec la réponse « *oui* ». Sa réponse reste ambiguë et elle paraît presque décontextualisée ou simplifiée. Elle semble être en lien avec le domaine de validité, ce que nous retrouvons chez d'autres élèves, comme Benjamin. En effet, ce dernier coche les réponses « *oui* » et « *non* » et il répond : « *Une explication doit être vraie tout le temps, si une observation sur 100 la contredit, elle est nulle. Une observation peut être faussée par un élément extérieur* ». La première partie de sa justification se rapporte à « *oui* » avec la notion d'une évolution. L'expression « *doit être vraie tout le temps* » se rapporte à une règle d'« *Élaboration en sciences* » sans possibilité d'exception. En d'autres termes, la théorie doit toujours fonctionner, quels que soient les résultats ou le contexte donné. Cette réponse rappelle l'étude réalisée par Coince, Miguet, Perrey, Rondepierre, Tiberghien, et Vince (2008) auprès d'élèves affirmant qu'un modèle doit prendre en compte toute la situation. L'autre partie de sa réponse « *Une observation peut être faussée par un élément extérieur* » se rapporte à « *non* ». Cette phrase rejoint l'idée que si les observations étaient fiables, alors elles ne poseraient pas de problème et l'explication serait validée. Quel crédit apporter à ce résultat ? Est-ce que la mesure ou l'observation a bien été réalisée ? Ainsi, affirmer que la théorie a un domaine de validité est différent d'indiquer qu'un résultat est en contradiction avec une observation et donc en limiter la théorie. Dans un cas, nous sommes dans une élaboration et nous mettons l'accent sur les limites à apporter à

l'explication, tandis que, dans l'autre, nous donnons une propriété du produit. Même si l'idée commune sous-jacente reste que l'explication est bornée, dans un cas nous nous plaçons du côté de l'explication et dans l'autre cas nous sommes dans les « règles d'élaboration ».

Quentin répond « *Une explication peut être fausse pour une observation, mais elle peut être vraie pour d'autres* ». Le mot « vrai » ici ne semble pas être utilisé dans le sens de vérité, mais il indique plutôt que cela marche mieux. Donc nous ne classons pas cette réponse dans la catégorie « rapport à la réalité ». Par contre, cette réponse signifie que la théorie peut expliquer certaines choses plus que d'autres. Nous retrouvons là aussi l'idée d'un domaine de validité qui s'inscrit dans la dimension « *Élaboration en sciences* ». En effet, Quentin évoque un choix de théorie et il propose de prendre celle qui semble la plus adaptée.

1.1.4.4.2 L'explication : Rapport à la réalité (plus ou moins explicité : visées)

Si l'explication est confirmée, est-ce que cela signifie que le modèle est la réalité ? Plusieurs réponses font appel au rapport à la réalité de manière plus ou moins explicite. Par exemple, Fanny écrit que « *Les observations peuvent parfois tromper et ne reflètent pas toujours la réalité* ». D'un autre côté, Antoine se place dans un rapport de la théorie à la réalité : « *Il n'existe pas toujours de meilleure théorie, si elle est globalement vraie et marche le mieux parmi toutes les autres théories alors on n'a pas d'autre choix que de l'utiliser* ». Contrairement à Quentin, qui reste sur le plan de l'explication, Antoine se situe dans le domaine théorique selon une caractérisation générale de la science. Sa réponse est donc classée dans la dimension des « *Visées et caractéristiques* ».

Le modèle aide à la compréhension pour Richard. Il tend vers la réalité, mais il ne la décrit pas exactement telle qu'elle est. La réalité apparaît à la fin en tant que perspective, comme il l'explique de manière un peu compliquée dans sa réponse : « *L'explication peut nous donner un modèle de la réalité, la preuve ce qu'on nous enseigne à l'Éducation nationale est toujours de plus en plus vraie dans le sens où chaque année, on nous dit "ce que vous avez vu l'année dernière était faux", mais le modèle aide à la compréhension.* ». Par conséquent, la proposition de Richard se

rapproche davantage de l’item indiquant que les physiciens « *utilisent l’explication en restreignant son champ d’application* ». Tout comme Mary, qui le formule différemment, puisqu’elle affirme que « *l’explication mise en défaut peut servir à résoudre le problème* ». Toutefois, elle ne précise pas la nature du problème.

Pierre-Louis se situe du côté de la théorie. Son argumentation renferme l’idée implicite que nous avons deux théories qui s’appliquent sur des champs différents. « *Certains physiciens cherchent une explication à la mise en défaut de leur précédente explication. Ils peuvent complexifier leur modèle pour qu’il corresponde aux observations* ». Comment comprendre le passage « *Ils peuvent complexifier leur modèle* » ? Ils n’abandonnent pas ce modèle, donc cette justification semble cohérente avec la réponse. À la limite, celui-ci a changé. Quel sens accorder au verbe « *complexifier* » ? Suggère-t-il un nouveau modèle ou des hypothèses ad hoc ?

1.1.4.4.3 La place de l’observation — Empirie (résultats, instruments humains ou non)

Certains élèves soulignent que l’observation pose problème. Selon Benjamin, « *Une observation peut être faussée par un élément extérieur* » et Rudy ajoute « *Puisqu’on ne peut pas toujours se fier à ce que l’on voit.* ». Des règles s’établissent par ailleurs sur cette observation, mais le rapport à la réalité n’est pas explicité. Cette observation « *fausse* » que nous pouvons appeler aussi « *limitée* » nous interroge. Qu’est-ce qui la limite : les ressources pour observer ou le scientifique ? Pour Lucile, le problème vient d’une « *Observation pas toujours juste* ». La difficulté reste l’interprétation du mot « *juste* ». Est-ce qu’il signifie « *précis* » ou bien est-ce qu’il correspond à un rapport à la réalité (« *Visées et caractéristiques* ») ? Nous restons sur une action et non pas sur les sciences en général, ce qui nous permet de le classer dans « *Élaboration en sciences* ». L’activité et la règle (ou la valeur) la caractérisent : il faut qu’elle soit « *juste* ». Marine justifie également « *Car l’observation peut être fausse ou la base de l’explication peut être bonne* ». La conjonction « *ou* » semble étonnante, car nous aurions pu considérer « *et* » dans le sens où l’explication reste correcte et donc l’observation va être mise en doute.

Les ressources limitent souvent l’observation. Mathieu argumente ainsi : « *On me donne un sifflet et on me dit qu’il produit un son. Je l’utilise et aucun son ne sort.*

Pourtant, c'est juste un sifflet à ultrason et même si du son est sorti je ne l'ai pas capté, nos sens ne sont pas à 100 % fiables, la théorie n'est donc pas rejetée si un de mes sens ne le dit ». Selon lui, la théorie semble correcte, donc il se place du côté de l'empirie (résultats, instruments, etc.). Sa réponse se rapproche de celle de Julien, mais il couvre un champ plus large. Si nous le formulons d'une autre manière, la théorie est rejetée quand un sens ou un instrument pose problème. L'hypothèse implicite semble bien que les mesures soient complètement fiables. En outre, contrairement à ce qui était attendu, les résultats peuvent être mis en défaut. Il ne conteste pas la théorie, mais les conditions expérimentales. Pouvons-nous dire qu'il restreint le domaine d'utilisation ou de validité ? Il ne remet pas en question qu'un sifflet émet une onde mécanique, la théorie n'est pas rejetée. Le sifflet doit produire un son (la théorie) ou alors un type de son. Il remet en cause le type de résultat dans le sens où un ultrason n'est pas un son. Sur le plan des dimensions, la phrase « *nos sens ne sont pas à 100 % fiables* » correspond à la dimension « *attitude* » qui porte sur les qualités individuelles. D'une manière plus générale, elle correspond aussi aux « *ressources* » dans la mesure où Matthieu fait référence à un capteur humain, mais il développerait probablement la même argumentation dans le cas d'instruments. Enfin, nous pouvons ajouter que sa réponse s'inscrit dans l'« *Élaboration en sciences* » avec une règle (100 % fiable) et donc un domaine de validité.

1.1.4.4 La communauté

Plusieurs réponses évoquent la dimension « *Communauté* » avec l'idée de plusieurs personnes en désaccord ou pas sur une période donnée. Emeric répond qu'« *Ils débattent pour savoir lequel a raison* ». Les physiciens sont en désaccord, puisqu'ils débattent, ce qui accentue la dimension « *communauté* ». Emeric soutient donc l'absence de changement. Pour Julien, les physiciens restent sur leur position en attendant de nouvelles avancées, puisqu'il écrit que « *Des physiciens peuvent se repencher sur la question plus tard, après une grande découverte qui change tout* ». Cet argument, qui évoque un statu quo momentanément, s'inscrit clairement dans les dimensions « *temps* » et « *communauté* ». Matthieu répond presque comme Julien : « *Non, car il n'y aurait pas d'évolution. Les physiciens émettent des hypothèses, mais ensuite d'autres continuent de chercher d'autres explications* ». Il évoque une histoire (« *une évolution* ») et la notion de communauté (« *d'autres* »), même si ce

n'est pas au même moment. Le mot « *ensuite* » peut être interprété temporellement ou simplement logiquement. Nolwenn rappelle qu'il faut du temps : « *Une explication n'est pas toujours abandonnée, elle peut être mise de côté pendant quelques temps pour trouver des justifications, trouver pourquoi une explication est mise en défaut par une observation, se baser sur cette observation pour trouver à nouveau une explication ou rectifier l'explication précédente* ».

1.1.4.4.5 Les attitudes : l'idée de persévérance/l'idée des limites

Des réponses relèvent de la dimension « *attitudes* ». Charles met en valeur l'aspect de persévérance : « *Non, on abandonne jamais, on cherche toujours à démontrer quelque chose jusqu'au bout* ». Tant que nous n'avons pas démontré quelque chose, il faut continuer. Nous ne savons pas si les physiciens restent sur leur position en attendant de nouvelles avancées. Nous comprenons qu'un problème ou une anomalie se crée. Charles affirme implicitement qu'il faudrait une adéquation entre l'explication et l'observation.

1.1.5 Quand deux explications permettent de rendre compte du même phénomène, que font les physiciens ?

Sur le plan théorique, les physiciens précisent des domaines de validité respectifs et ils utilisent, si possible, l'explication « *la plus simple* » dans le domaine de validité correspondant. Sans toujours abandonner les explications, les physiciens cherchent plutôt à les articuler si elles sont valables, par exemple, la mécanique classique et la mécanique quantique, ou bien l'optique géométrique et l'optique ondulatoire. La théorie ondulatoire rend bien compte des situations de l'optique géométrique. Toutefois, dans le cas de situation de propagation à travers une ouverture avec une fente très large, il serait beaucoup trop long et compliqué d'utiliser la théorie ondulatoire. Donc, les explications coexistent, mais les physiciens choisissent celle qui semble la plus puissante ou la plus féconde. Bien entendu, le processus n'est pas instantané ; en raison des débats et confrontations avec la communauté scientifique.

Les élèves pourront répondre à cette question en se basant sur leur conception générale de l'élaboration des savoirs scientifiques :

- Jeu de l'acceptation par la communauté scientifique ;
- Concurrence ou collaboration des scientifiques, ayant des points de vue et des savoir-faire différents.

Leurs réponses pourraient mettre en jeu deux rapports à la réalité différents : l'explication est en adéquation avec la réalité ou bien elle reste une construction de la réalité.

1.1.5.1 Une vision naïve de ce que font les physiciens

Plusieurs élèves considèrent qu'il ne doit rester qu'une explication, comme Emeric, qui répond simplement qu'« *Ils sont contents et cherchent une explication scientifique* ». Dans ce contexte, comment aboutir à une seule explication consensuelle ? Selon Jérémy, ils se contentent de n'en conserver qu'une seule : « *Ils confrontent les deux explications, et tentent de démontrer que l'une d'elles est correcte* ». Pierre-Louis défend l'idée qu'il faut nécessairement une explication et il ajoute d'ailleurs qu'« *Ils attendent une observation qui invalidera l'une des deux explications. Durant toute cette attente, les deux explications coexistent* ». Mathieu pense qu'il ne reste qu'une explication par rejet : « *Les physiciens font des recherches pendant des années jusqu'à ce que l'une des deux explications puisse être rejetée* ». Tandis que Blandine écrit qu'« *Ils regardent dans quel cas elles fonctionnent et cherchent un lien qui peut les réunir (comme l'infiniment grand et l'infiniment petit)* ». Il ne subsiste qu'une seule explication, mais le processus semble différent, car les autres explications ne sont pas forcément invalidées. L'idée de dépassement demeure intéressante, d'autant plus qu'elle est associée à un domaine de validité, ce que mentionnent peu d'élèves.

Cependant, d'autres élèves nuancent leur discours. Gersende envisage qu'« *Ils essaient de les mettre en relation ou en exclut une des deux après des études approfondies* ». Plusieurs réponses suggèrent qu'il peut rester deux explications complémentaires (restriction) avec un point en commun. Julien indique qu'« *ils essaient de trouver une explication commune à leurs explications* ». Nacer rajoute qu'« *On les met en commun pour donner une seule idée* ». Fanny répond qu'« *Ils étudient les deux, voient si elles ont des points communs et peuvent ainsi voir s'il*

existe une explication basée sur les deux premières qui rend compte de ce phénomène ».

Enfin, les deux explications peuvent être complémentaires et, selon Richard, une seule est conservée par dépassement : *« Ils essaient de comprendre pourquoi les deux explications sont justifiées, bien souvent ces deux points de vue sont complémentaires. Les physiciens essaient donc d'établir une troisième théorie qui prend en compte les deux premiers phénomènes ».* Les physiciens sont alors amenés à les regrouper, comme le dit Benjamin : *« Ils essaient d'abord de déterminer si une seule est vraie, sinon ils peuvent regrouper les théories (ex ; dualité onde corpuscule) ».* Alors que Quentin cherche à lier ces explications : *« Ils vont chercher un lien entre les deux explications pour voir si ce ne sont pas les mêmes, si elles n'ont pas le même raisonnement ».*

Par ailleurs, les réponses montrent des activités différentes, comme une démarche exclusivement théorique ou une approche expérimentale, qui figurent dans le tableau ci-dessous :

Type d'activité	Pourcentage (N=30)
Pas de réponse	10 %
Non précisée	37 %
Activité intellectuelle	40 %
Expérience	13 %

Tableau 29 : des activités différentes

La plupart des élèves font référence à des activités intellectuelles dans leurs réponses avec des expressions du type *« ils cherchent »*, *« ils déterminent »*, *« ils essaient de démontrer »*, etc. Seules quatre réponses font appel à une démarche expérimentale. Le statut de l'expérience sous-entend une expérience cruciale qui doit permettre de trancher. Ainsi Mary affirme qu'*« Ils font des expériences »* et Inès explique que *« Les physiciens comparent les deux explications en trouvant une expérience. Cette expérience pourra nous démontrer quelles explications entre les deux est la bonne ou que les deux le sont ».* Ces élèves semblent avoir une vision *« naïve »* du travail des physiciens. En même temps, pouvons-nous dire que la

réponse semble si « naïve » dans la mesure où les physiciens⁴⁶ eux-mêmes y adhèrent encore largement ? De plus, environ 10 % des élèves ne répondent pas, la question paraît inconcevable pour eux (cf. Q2).

Pour résumer, ces réponses indiquent que les physiciens y arrivent soit par élimination d'une des explications initiales, soit par restriction ou par « dépassement ». Selon le type de réponse apportée à cette question, nous pouvons repérer soit une vision naïve avec l'idée d'éliminer une explication ; soit une vision qui cherche à concilier les deux explications sans les exclure, comme l'indique le tableau suivant :

Choix entre explications		code	Pourcentage (N=30)	
N'en parle pas		Chx.0	10 %	10 %
Une explication	on élimine (chercher une expérience pour trancher)	Chx.1a	13 %	63 %
	on élimine (théorie)	Chx.1b	50 %	
Un point commun	expérience, phénomène, ou champ de validité	Chx.2a	0 %	27 %
	théorie	Chx.2b	27 %	

Tableau 30 : le choix entre explications

Ainsi, près des deux tiers des élèves (63 %) pensent qu'une seule explication peut rester. La majorité des élèves (15 élèves sur 19) évoquent l'idée que les scientifiques doivent chercher une théorie qui va englober les deux explications. Finalement, il semble que les élèves cherchent davantage du côté du théorique que de l'empirique.

1.1.5.2 La nature des dimensions

Les réponses des élèves révèlent de manière significative que les physiciens doivent implicitement arriver à une explication unique. Bien que différentes méthodes permettent d'y arriver, les expériences et la communauté scientifiques sont peu présentes dans leurs réponses. Seul Clément se démarque, puisqu'il évoque explicitement une controverse au sein d'un ensemble de personnes : « *Ils se battent pour défendre leur théorie* ». Cette dimension se retrouve également chez Manon, qui

⁴⁶ Citons, à titre d'exemple, l'expérience d'Aspect pour départager Bohr et Einstein ou les expériences de Foucault et Lenard pour déterminer si la lumière est corpusculaire ou ondulatoire.

explique que « *Les physiciens vont comparer leurs explications afin de pouvoir déterminer laquelle est la bonne* ».

Seulement, très peu d'élèves argumentent par rapport aux critères de choix des physiciens. Les valeurs, comme la simplicité ou la puissance, n'apparaissent pas dans leurs justifications. Seul Sacha évoque le critère de précision : « *Ils regardent l'explication la plus précise* ». Dans la plupart des réponses, l'argument sous-jacent porte sur des procédures logiques caractérisées par des expressions telles qu'« *ils comparent* ». Ainsi, parmi les neuf dimensions, la plus représentative reste l'« *élaboration en sciences* » avec la catégorie « *règles d'élaboration* » comme dans la question précédente.

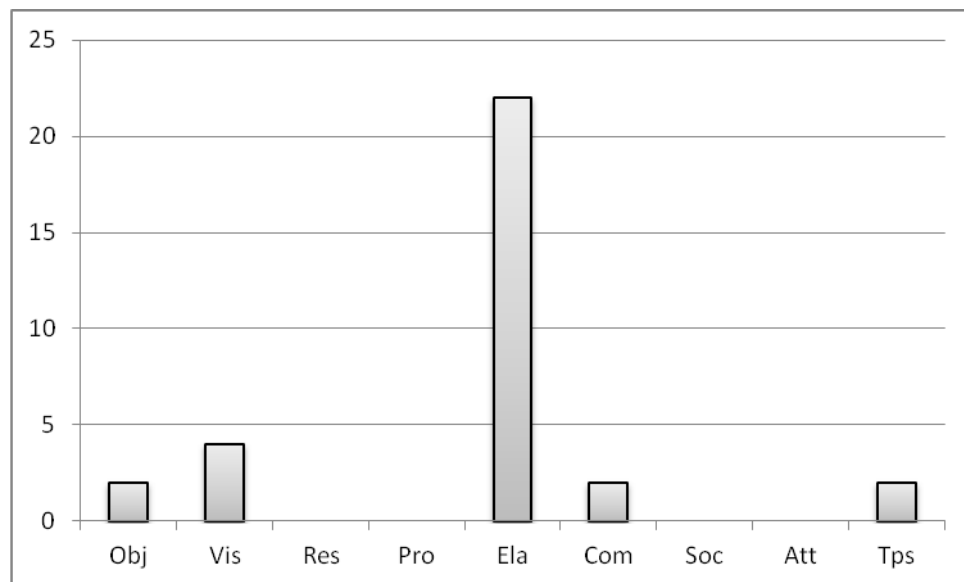


Figure 24 : quand deux explications permettent de rendre compte du même phénomène, que font les physiciens ?

1.1.6 Peut-on être scientifique et croyant ?

Cette question demeure volontairement large et elle ne précise pas le type de croyance. Une réponse complète serait d'envisager la croyance religieuse et les valeurs dans les sciences de l'ordre des croyances comme les fondements des sciences (communauté) ou la motivation des choix des scientifiques (simplicité, harmonie). D'ailleurs, Soler (2009) et Brenner (2011) rappellent que si le paradigme

selon Kuhn caractérise la communauté, les individus ne partagent pas tous les mêmes valeurs. Nous pouvons être scientifiques et croyants sous réserve de respecter la frontière entre le registre du savoir et celui des croyances dans le cadre « *officiel* », car, dans la pratique (cadre personnel, privé, intérieur), nous ne savons pas comment fonctionne la pensée du scientifique croyant. Comme le rappelle Charbonnier (2018), il est impossible de faire disparaître ses croyances. Il reste donc important d'établir une différence sur la nature du discours.

D'après les cours de philosophie, la réponse attendue au niveau d'une terminale scientifique serait plutôt « *oui* » en s'interrogeant sur le type de croyance : est-ce que les élèves se restreignent à la religion ou est-ce qu'ils évoquent des croyances dans les sciences ? Il semble probable que les élèves aient des difficultés à se situer de manière juste dans la démarche scientifique et l'attitude religieuse. Nous nous attendons à des réponses qui critiquent les croyances, notamment religieuses, et s'approchent d'une forme de scientisme. Les réponses peuvent dépendre du contexte culturel des élèves. En effet, dans d'autres pays, les recherches en sciences de l'éducation font apparaître des positions concordistes. Par exemple, Aroua, (2006) a montré qu'une partie des élèves tunisiens tend à faire concorder les religions avec les sciences. Cela tient sans doute en partie à une méconnaissance des limites du domaine des sciences, ce qui entretient une certaine confusion des registres. En France, une réflexion institutionnelle a été engagée en 2012 sur la pédagogie de la laïcité (Bidar, 2012). Il était justement demandé aux enseignants de situer sciences et religions sur deux plans différents.

1.1.6.1 Des difficultés à se situer

Quand nous demandons aux élèves « *peut-on être scientifique et croyant ?* », tous les élèves ont interprété la conception de la croyance comme celle qui relève de la religion. Il semble intéressant de noter qu'ils répondent « *oui* » à cette question pour 77 % d'entre eux.

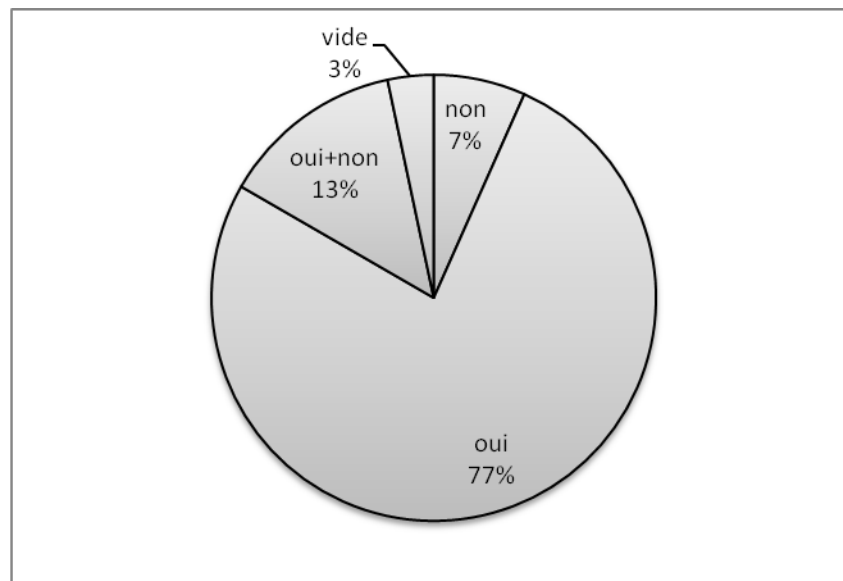


Figure 25 : peut-on être scientifique et croyant ?

Nous remarquons néanmoins que les élèves ont des difficultés à situer les sciences et les religions sur deux plans différents. La croyance semble parfois perçue comme préliminaire nécessaire au scientifique : « *Oui, car un croyant pensera que toutes choses est la création de Dieu et voudra s'en intéresser davantage* » (Matthieu). En revanche, d'autres répondent « *non* » et font valoir que la croyance nuit au travail scientifique, par exemple Emeric : « *La religion influe trop la réflexion personnelle et empêche l'hypothèse de certain phénomène* ». La réponse de Richard demeure pour le moins étonnante : « *Les sciences à la base avaient pour but de mieux comprendre la religion et l'Univers qu'a fait Dieu ou les dieux* ». Les sciences cherchaient à tout expliquer, y compris « *la religion* ».

Sur le plan de leur justification, l'objet du discours semble souvent situé en rapport avec une personne (51,4 %) ou parfois un exemple (13,5 %). Le premier niveau de justification consiste d'abord à constater qu'il existe des scientifiques croyants. Le deuxième niveau de justification porte principalement sur l'articulation des croyances avec le travail scientifique et de son éventuelle influence.

Le discours des 43,2 % élèves restants demeure généraliste. Il paraît plus nuancé pour 13,5 % d'entre eux. Certains suggèrent que les sciences ont une portée universelle. Elles ne sont pas fondées sur des croyances. Au contraire, d'autres élèves pensent que les croyances peuvent aider les sciences. Les réponses sont clairement influencées par un contexte religieux, qui leur permet d'expliquer ce lien entre foi et pratique

scientifique. Il semble étonnant de constater que l'aspect « *projet de la science* » amène finalement les sciences et les religions sur un même registre.

Enfin, quelques réponses contiennent un propos plus critique sur la croyance : ce sont généralement ceux qui ont répondu « *non* ». Des élèves considèrent notamment que la croyance amène des illusions et nous empêche d'accéder au savoir, puisque les croyances sont prises pour des vérités. En outre, certains élèves relient croyance et religion monothéisme.

Par conséquent, les réponses des élèves portent sur un constat de fait (une existence), un constat d'impossibilité (liée à une vision « *réductrice* » de la personne ou des sciences) ou des conditions pour les rendre possible.

1.1.6.2 Les sciences et les croyances

Les justifications des élèves permettent d'avoir des informations sur les sciences et la religion, ainsi que les rapports entre les deux. Ce rapport peut être divisé en trois grandes catégories de réponses : la contradiction, la convergence et la séparation. Deux types de réponses peuvent être identifiés pour la réponse brute « *non* » et quatre types de réponses pour la réponse brute « *oui* ». Tous ceux qui n'ont pas donné de justification sont regroupés dans la catégorie « *N'en parle pas* ». Ces sept catégories sont décrites dans le tableau ci-dessous :

Rapport entre sciences et croyances	code	Pourcentage (N=30)
N'en parle pas	Cr.0	3 %
Oui, cela existe — pas d'argument	Cr.1	20 %
Non-contradiction	Cr.2a	3 %
Oui, cela existe — contradiction	Cr.2b	21 %
Non-influence (problème de non-neutralité ou de manque d'objectivité)	Cr.3a	7 %
Oui, cela existe — confusion	Cr.3b	13 %
Oui, cela existe — séparation	Cr.4	33 %

Tableau 31 : codage sciences et croyances

Une catégorie, donnée par plus d'un élève sur cinq, tend donc à opposer les sciences et les religions (code Cr.2a et Cr.2b). L'autre concerne essentiellement l'influence de la religion sur les sciences : soit, elle est considérée comme un aspect négatif (l'idée

d'être un « *mauvais* » scientifique : le scientifique n'est pas neutre, nous ne pouvons pas atteindre la réalité telle qu'elle est, code Cr.3a), soit comme un aspect positif (moteur pour la recherche, code Cr.3b). En revanche, aucun élève n'évoque explicitement l'influence des sciences sur la religion. La troisième indique que ces deux domaines différents n'entrent pas en contradiction, mais se complètent et ces élèves arrivent à les séparer (code Cr.4).

Pour simplifier, il est possible de réduire le nombre de catégories de sept à cinq, car deux regroupements sont possibles :

- La contradiction : « *Non-contradiction* » et « *Oui, cela existe — contradiction* » ;
- La confusion : « *Non-influence* » et « *Oui, cela existe — confusion* ».

Les réponses des élèves se répartissent en trois catégories quasi équivalentes :

Rapport entre sciences et croyances	code	Pourcentage (N=30)
N'en parle pas	Cr.0	3 %
Oui, cela existe — pas d'argument	Cr.1	20 %
contradiction	Cr.2	24 %
confusion	Cr.3	20 %
séparation	Cr.4	33 %

Tableau 32 : codage simplifié sciences et croyances

1.1.6.1 La nature des dimensions

Logiquement, les dimensions peu corrélées à la démarche scientifique sont les plus représentées dans ces réponses, à savoir : « *Visées et caractéristiques* », « *Société* » et « *Attitudes* ». Cette question sur sciences et croyance porte finalement beaucoup sur la dimension « *attitudes* », et certaines dimensions ne sont pas représentées, puisque la question porte sur une personne. Les élèves qui, comme Yasser, proposent des exemples ou qui citent des personnes (Albert Einstein) s'inscrivent dans la dimension « *communauté* ». Par exemple, Richard commence par répondre : « *Oui parfaitement, les plus grands scientifiques étaient généralement des croyants. Galilée l'était par exemple.* » Mary ajoute qu'« *il existe des croyants scientifiques* ». Ils font référence à une caractéristique de la communauté de scientifiques. En effet, cette dernière n'est pas homogène et elle ne comporte pas que des athées.

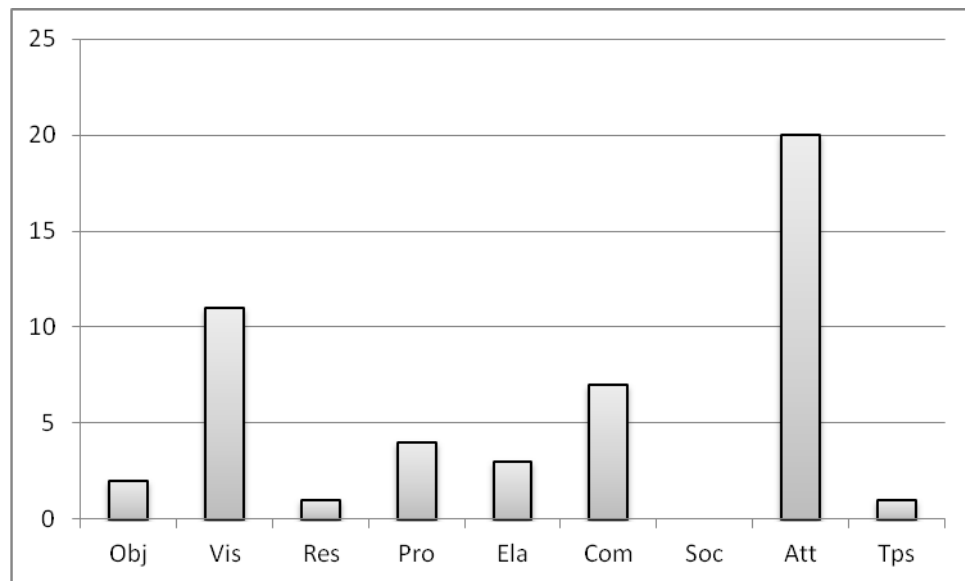


Figure 26 : les dimensions évoquées à la question « peut-on être scientifique et croyant ? »

Dans ces réponses, les élèves ne répondent pas uniquement sur la qualité de la personne, mais ils s'expriment plus globalement sur les sciences et les religions. Par exemple, Mary explique qu'« *Il existe des croyants scientifiques. Pourtant je trouve ça complètement paradoxal la science s'explique, se démontre. La croyance n'est que des hypothèses. Je ne pense pas qu'on puisse croire à un créateur divin et croire en la science, la divinité ne s'explique pas* ». Sa réponse porte à la fois sur la « communauté », les « qualités » et les « Visées et caractéristiques ». Mary propose une caractéristique des sciences : « *la science s'explique, se démontre* » et elle correspond à la dimension des « Visées et caractéristiques ». Par ailleurs, cette justification demeure fondée sur l'idée implicite que les sciences doivent tout expliquer. Rudy commence également par écrire que « *Ce sont deux domaines complètement différents : sciences et religion.* » Puis, il se place dans la dimension « attitude » en ajoutant que « *Même si, généralement, les deux s'opposent, cela n'empêche pas d'être les deux.* » Sciences et religion sont donc pour lui compatibles.

1.1.6.1.1 L'influence de la religion

L'influence de la religion porte sur plusieurs dimensions. Par exemple, Julien reste incontestablement dans la dimension « qualité » lorsqu'il répond : « *Je pense que l'on ne peut pas vraiment être scientifique et croyant, car cela peut influencer le résultat.* » Toutefois, il se place aussi du côté des règles d'élaboration quand il ajoute : « *Mais on peut croire sans pour autant en faire part dans les résultats* ». Sa

réponse se rapproche de celle d'Emeric qui écrit : « *La religion influe trop la réflexion personnelle et empêche l'hypothèse de certain phénomène* ». La religion peut influencer le résultat (Julien), la manière de penser ou les hypothèses (Emeric). À travers sa réponse, Julien nous laisse entendre qu'un scientifique ne peut pas faire la part des choses.

D'un autre côté, Mélissa pense que, si nous pouvons être scientifique et croyant, il semble, cependant, légitime de restreindre la façon d'être croyant : « *Puisqu'il peut croire en un Dieu et être scientifique, mais d'un autre côté, il ne peut pas être scientifique et croire en, par exemple Adam et Ève, ça serait contradictoire* ». Selon elle, nous pouvons être scientifiques et croyants, mais il lui paraît difficile, en tant que scientifique, de croire en Adam et Ève.

D'autres réponses sont beaucoup moins spontanées et moins précises. Blandine pense que nous pouvons croire, mais elle ne restreint pas le domaine de la croyance quand elle répond que « *Beaucoup de scientifiques ont été ou sont croyants. De plus, on peut noter que la science est elle-même une croyance.* » Sa réponse peut être comprise comme, « *oui, on peut être scientifique et croyant* » avec l'idée qu'il existe des croyances dans les sciences.

Au contraire, Pierre-Louis explique qu'« *On peut observer n'importe quelle croyance. Et si une infinité de croyances sont possibles, il y en a forcément en accord avec la science* ». Selon lui, les sciences et les croyances ne sont pas incompatibles et notamment elles peuvent s'accorder. Il défend presque l'idée du concordisme, comme Antoine qui soutient qu'« *il y a plusieurs degrés de croyance, tous les religieux ne sont pas extrémistes ou fanatiques. Certains voient Dieu dans la science.* »

1.1.6.1.2 Comment faire la part des choses ?

Pour Benjamin, « *Le scientifique cherche à déterminer la vérité sans se soucier de ses opinions* ». Il se place dans la dimension « *Visées et caractéristiques* », car sa réponse porte sur l'objectif des sciences. La dimension « *attitude* » est évoquée dans la mesure où le scientifique doit faire la part des choses.

Mélissa juge que la religion agit sur l'interprétation. Elle répond qu'« *On peut démontrer une chose de manière scientifique en affirmant aussi que tout cela est la création de Dieu. Certaines choses qu'un scientifique non croyant ne peut expliquer, un scientifique croyant dira que c'est l'œuvre de Dieu* ». Elle évoque l'idée d'une communauté hétérogène, ce qui rappelle Kuhn. En plus, les expressions « *démontrer une chose de manière scientifique* » ou « *ne peut expliquer* » peuvent se classer dans la dimension « *Visées et caractéristiques* ». Cependant, en affirmant aussi que « *tout cela est la création de Dieu* », Mélissa ne cherche-t-elle pas aussi à obtenir une concordance entre les dogmes religieux et les connaissances scientifiques acquises à une époque donnée ?

1.1.6.1.3 Quand sciences et religion semblent se contredire

Les sciences et la religion semblent se contredire pour Nacer, qui affirme « *mais cela peut venir contredire certaine théorie et avoir une opinion différente que d'autre scientifique non croyant Albert Einstein* ». La première partie de la phrase se rapporte à la dimension « *produits* », car la croyance reste en contradiction avec la théorie.

La contradiction entre les résultats des sciences et la religion est aussi expliquée par Mathieu : « *Pour moi, on ne peut pas, car les sciences prônent que les religions sont basées sur des faits totalement faux et inventés comme Adam et Ève contredits par Darwin* ». Cette phrase se classe dans la dimension « *produits* ». Tandis que, la seconde partie de sa phrase se rapporte à la « *communauté* » : « *Mais je mets quand même oui, car certains scientifiques sont croyants et donc on peut.* »

1.2 Étude des résultats de chaque élève

1.2.1 Le nombre de dimensions évoquées

Les réponses du premier questionnaire comportent 242 unités d'analyse. Ce nombre dépend, avant tout, du nombre et du type de questions. Les explications données sont plus ou moins fournies. Elles se répartissent dans plus ou moins de dimensions (plus ou moins riches). Sur l'ensemble de la classe, le nombre moyen est d'environ 8,1 unités d'analyse. Le nombre maximal et minimal étant 14 et 3. L'écart-type est de

2,1, soit une faible variation entre les réponses, comme le montre l'histogramme ci-dessous :

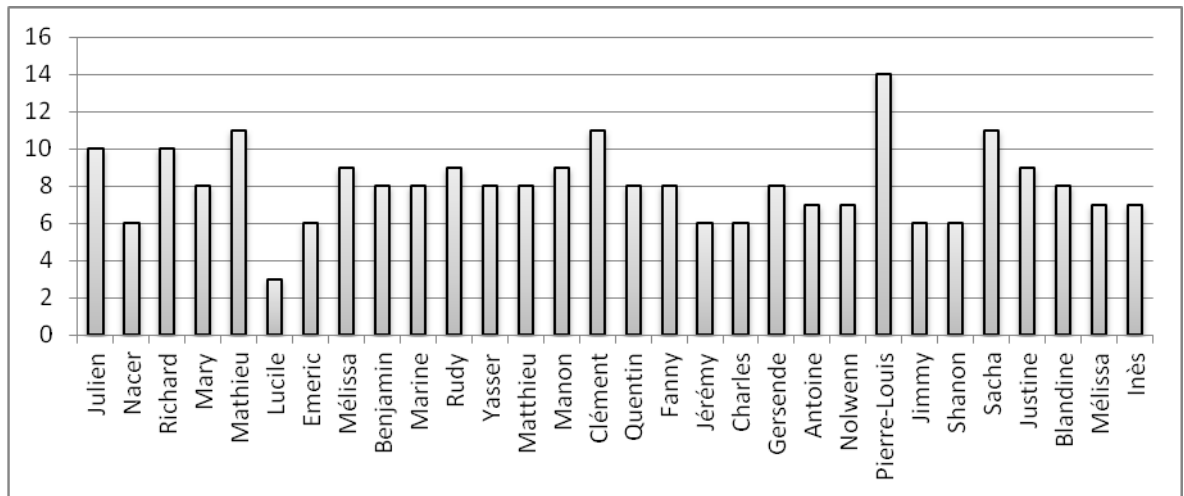


Figure 27 : distribution de fréquences des dimensions du 1er questionnaire

Les positions des élèves vont d'un score de quatorze pour Pierre-Louis à seulement trois pour Lucile, ce qui paraît vraiment très bas. Les scores de Pierre-Louis (14) et de Clément (11) sont particulièrement intéressants puisqu'ils se partagent dans beaucoup de dimension à la fois, tout en ayant des profils assez différents, comme le montrent les figures ci-dessous :

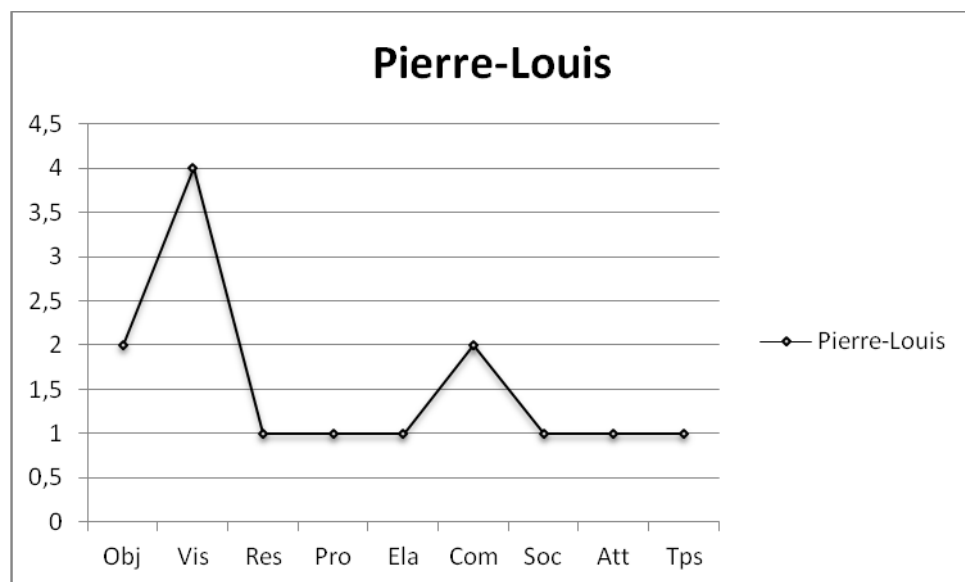


Figure 28 : le profil de Pierre-Louis

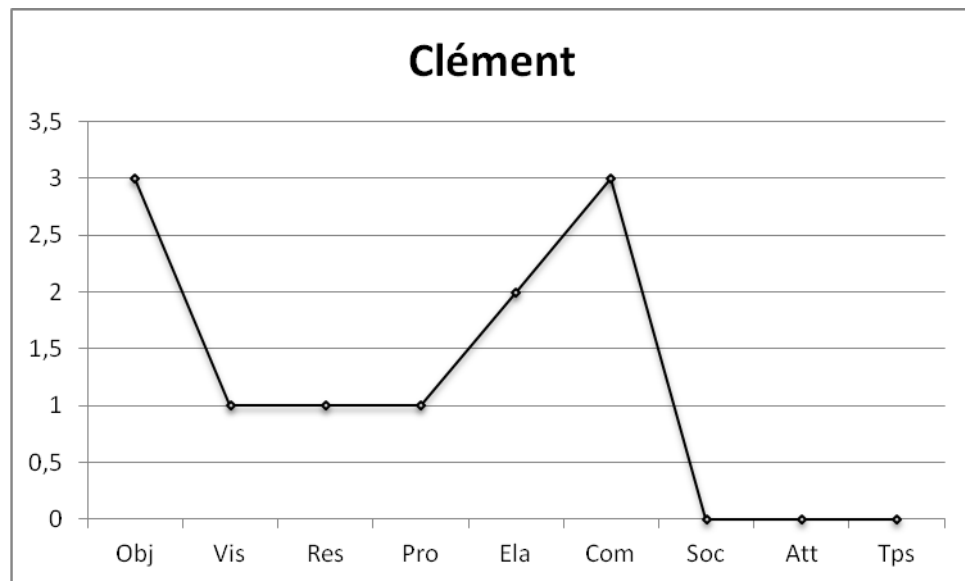


Figure 29 : le profil de Clément

De la même manière, Julien et Richard ont des résultats égaux (10), mais ils ne mettent pas l'accent sur les mêmes dimensions. En effet, Richard évoque quatre fois la dimension des « *Visées et caractéristiques* » contrairement à Julien, qui n'en parle pas. À l'inverse, Julien exprime quatre fois la dimension « *Élaboration en sciences* », alors que Richard ne l'évoque que deux fois.

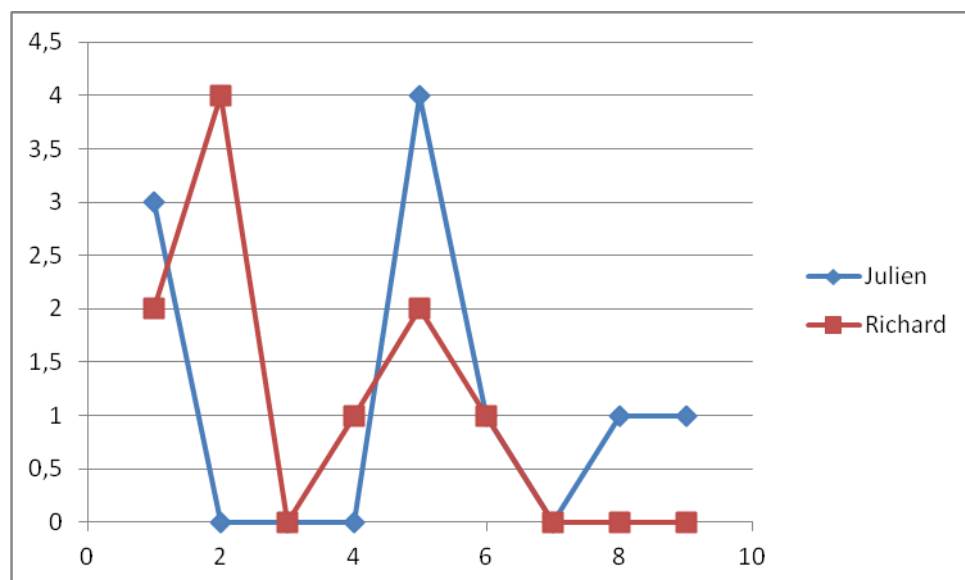


Figure 30 : Les profils comparés de Julien et Richard

Le score, assez élevé, de ces quatre élèves semble intéressant, dans la mesure où il révèle une meilleure prise de conscience des différentes dimensions. Il n'indique pas pour autant que la vision est nuancée, plus riche ou plus complexe, car elles ne sont pas toutes mobilisées.

Par ailleurs, nous observons manifestement un déséquilibre de la répartition des dimensions sur l'ensemble de l'effectif. L'« *Élaboration en sciences* » étant privilégiée au détriment des autres, comme le montre l'histogramme ci-après. « *Société* », « *Temps* » et « *Ressources* » sont très peu présents, comme nous indique le profil de la classe sur l'ensemble du premier questionnaire :

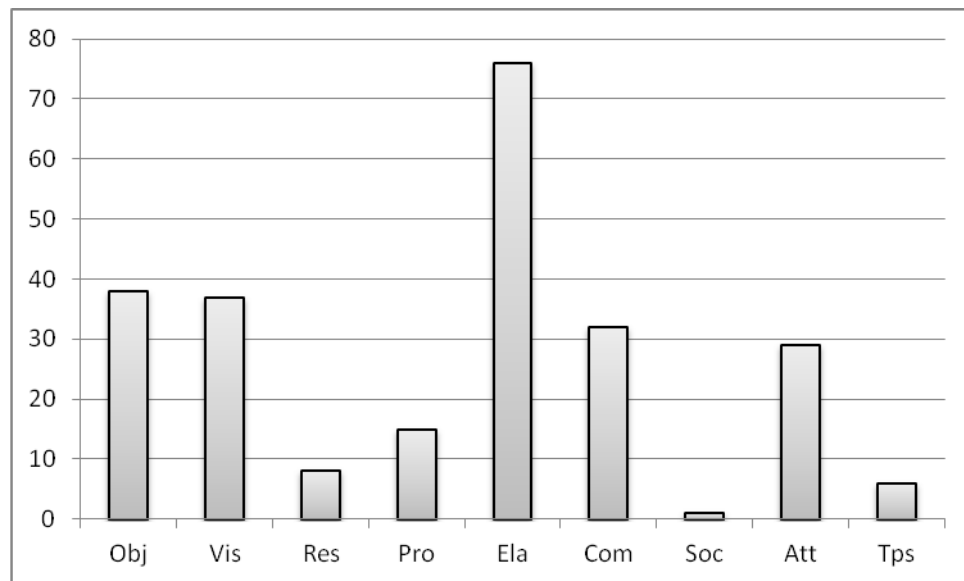


Figure 31 : profil de la classe sur l'ensemble du premier questionnaire

Pour conclure, rappelons que ces résultats dépendent aussi des questions posées. Cet outil permet avant tout d'identifier la diversité des élèves. Le principal enseignement à retenir reste la différence et la richesse de leurs justifications plus ou moins développées. De plus, les typologies de réponses sont différentes d'un élève à l'autre, car les élèves privilégient uniquement certains aspects des sciences. Finalement, ces résultats montrent que, contrairement à ce que l'on aurait pu supposer à partir d'une pensée commune réductrice, les élèves sont très différents et leurs arguments sont beaucoup plus nuancés. Cette diversité vient rejoindre l'étude de Hanley, Bennett et Ratcliffe (2014). Il semble normal que, dans un sujet aussi complexe qu'une séquence d'enseignement avec de nombreux paramètres, nous retrouvions une grande pluralité de vues et d'opinions.

1.2.2 Le positionnement sur trois points importants

Pour résumer brièvement les résultats par élève, nous revenons sur les trois points suivants : le choix entre explications, le rapport sciences et religions et la place de l'observation dans la démarche. Nous avons identifié précédemment des types de réponses qui correspondent à des catégories. Elles sont codées en chiffres et apparaissent schématiquement dans le tableau suivant :

Élève	Choix entre explications	Place de l'observation dans la démarche	Sciences et croyances
Julien	Chx.2	Obs.2	Cr.3
Nacer	Chx.2	Obs.1	Cr.2
Richard	Chx.1	Obs.1	Cr.2
Mary	Chx.1	Obs.1	Cr.2
Mathieu	Chx.1	Obs.1	Cr.2
Lucile	Chx.0	Obs.1	Cr.1
Emeric	Chx.1	Obs.1	Cr.3
Mélissa	Chx.1	Obs.1	Cr.3
Benjamin	Chx.1	Obs.3	Cr.4
Marine	Chx.0	Obs.1	Cr.0
Rudy	Chx.1	Obs.1	Cr.4
Yasser	Chx.0	Obs.1	Cr.1
Matthieu	Chx.1	Obs.2	Cr.1
Manon	Chx.1	Obs.3	Cr.1
Clément	Chx.1	Obs.3	Cr.4
Quentin	Chx.2	Obs.3	Cr.2
Fanny	Chx.2	Obs.1	Cr.4
Jérémy	Chx.1	Obs.1	Cr.4
Charles	Chx.1	Obs.1	Cr.1
Gersende	Chx.1	Obs.1	Cr.2
Antoine	Chx.1	Obs.2	Cr.4
Nolwenn	Chx.1	Obs.1	Cr.4
Pierre-Louis	Chx.1	Obs.1	Cr.3
Jimmy	Chx.2	Obs.0	Cr.1
Shanon	Chx.1	Obs.1	Cr.3
Sacha	Chx.1	Obs.1	Cr.4
Justine	Chx.2	Obs.1	Cr.4
Blandine	Chx.2	Obs.3	Cr.4
Mélissa	Chx.1	Obs.1	Cr.2
Inès	Chx.1	Obs.1	Cr.3

Tableau 33 : positionnement pour chaque élève avant la séquence

Ce tableau permet d'accéder à une analyse comparative des élèves entre eux sur le plan épistémologique. Dans la mesure où les réponses sont très diverses, il indique

une hétérogénéité des élèves au sein de cette classe. Nous distinguons toutefois une position majoritaire qui est à la fois empiriste et réaliste. Les élèves mettent l'accent sur le rôle déterminant de l'observation et ce résultat confirme les recherches en didactique. Par ailleurs, nous pouvons émettre l'hypothèse que leur position correspond aussi à une vision réaliste (le modèle décrit la réalité), car deux tiers des élèves (67 %) pensent qu'une seule explication doit rester. Les autres élèves ont un rapport plus complet du choix entre les explications et de la place de l'observation dans la démarche.

1.2.3 Un croisement entre réponses : des profils d'élèves

Cette tendance se retrouve dans le tableau d'analyse présenté ci-dessous :

Choix entre explications	Place de l'observation dans démarche	Sciences et croyances
67 % Chx.1	50 % Obs.1	3 % Cr.1
		17 % Cr.2
		17 % Cr.3
		13 % Cr.4
	7 % Obs.2	3 % Cr.1
		3 % Cr.4
	10 % Obs.3	3 % Cr.1
		7 % Cr.4

Tableau 34 : typologie de réponse avant la séquence (N=30)

Notre étude indique certainement une tendance et des différences plus marquées dans le rapport entre les sciences et les croyances. Les réponses les plus problématiques sont probablement la « *contradiction* » (code Cr.2) et la « *confusion* » (code Cr.3). Elles se retrouvent beaucoup chez les élèves qui ont une vision réaliste (code Chx.1) et qui supposent que l'observation est plus importante (code Obs.1). Selon toute vraisemblance, la confusion demeure entre les croyances et les sciences pour un élève sur cinq (20 %), comme l'indique le tableau ci-après :

Sciences et croyance Observation	Cr.0	Cr.1	Cr.2	Cr.3	Cr.4
Obs.0		3 %			
Obs.1	3 %	10 %	20 %	17 %	20 %
Obs.2		3 %	0	3 %	3 %
Obs.3		3 %	3 %	0	10 %

Tableau 35 : tableau croisé des réponses du premier questionnaire sur observation, sciences et croyances (N=30)

1.3 Bilan et mise en perspective avec les hypothèses de recherche et les résultats

Les réponses de ce premier questionnaire soulignent en premier lieu quatre conceptions importantes à prendre en considération. D'abord, dans la démarche à suivre pour élaborer un savoir, les élèves privilégient l'observation. L'observation reste majoritairement prioritaire chez les élèves. Ensuite, pour l'explication à fournir d'une observation donnée, la quasi-totalité d'entre eux considère que deux explications différentes peuvent être proposées pour une même observation : les élèves mettent en avant les erreurs et surtout la façon de penser. À propos de l'évolution des savoirs, deux tiers environ des élèves envisagent de ne garder qu'une seule explication, mais ce choix n'est pas immédiat : l'autre explication doit d'abord être éliminée. Ils privilégient l'approche théorique (comme le *VOSI* de Schwartz et Lederman, 2008). Enfin, les élèves estiment en majorité que les scientifiques peuvent être croyants, la moitié ayant une vision concordiste des sciences et des religions, l'autre les mettant sur deux plans différents.

Sur le plan de la richesse de la *NoS*, la dimension la plus significative qui émerge de cette analyse est l'« *élaboration en sciences* ». Les dimensions « *ressources* », « *attitudes* », « *communautés* », « *sociétés* » et « *visées et caractéristiques* » ne sont que très peu présentes dans les réponses. Ce résultat dépend aussi des questions de recherche qui sont posées et de la façon dont elles sont posées (centré sur les savoirs

ou les pratiques, d'une personne seule ou d'une communauté, etc.). En effet, la question science-croyance est celle où l'attitude est importante. Cette approche donne donc des résultats cohérents avec les conceptions présentées précédemment et ils montrent une vision très réduite de la *NoS*. Par ailleurs, le fait que les présupposés soient absents souligne le besoin d'approfondir les liens entre les différents registres de la pratique scientifique.

En deuxième lieu, les résultats qui découlent de cette analyse peuvent être mis en perspective avec les études sur les résultats de l'apprentissage de la *NoS* (enquêtes, programmes et manuels). La place de l'observation dans la démarche rejoint effectivement des résultats connus de la recherche en didactique. Jusqu'à présent, la démarche privilégiée dans les manuels était une démarche inductive avec une phase prépondérante de l'observation. La dimension humaine et sociale semble peu mise en avant dans les programmes et les manuels. Ce résultat peut être également mis en perspective avec l'étude sur les dimensions : les élèves ne répondent que sur les sciences et, d'une certaine manière, la dimension humaine et collective demeure quasiment absente. Les dimensions les plus représentées correspondent à une approche classique de l'étude des sciences. Elles sont de nature épistémologique telles que, par exemple, la nature des savoirs et la nature des démarches.

Dans un autre ordre d'idée, l'accord entre théorie et empirie mène à des résultats différents. Par une écrasante majorité (90 %), la réponse des élèves étaient qu'une explication n'est pas abandonnée par les physiciens lorsqu'elle est mise en défaut par une observation. Ce résultat est différent de celui observé chez les étudiants arrivant en L1 par Maurines, Fuchs-Gazellot et Ramage en 2016. En outre, une large majorité d'élèves (77 %) répond « oui » à la question « *peut-on être scientifique et croyant ?* ». Ce résultat confirme que le rapport entre les sciences et les croyances semble moins tranché contrairement à d'autres études (Aroua, 2006).

Dans son ensemble, l'approche novatrice d'analyse en termes de richesse demeure en adéquation avec celle par positionnement. Nous n'avons pas trouvé d'étude similaire dans d'autres pays. Elle intervient dans le contexte porteur de la *NoS*, au sens anglo-saxon du terme. Nos résultats rejoignent ceux d'études consacrées à la didactique des sciences comme la vision empiriste soulignée par Rolletto (1998). Cependant, notre

étude présente des résultats moins tranchés. La richesse des réponses de chaque élève et de la classe montre une diversité des positions mettant en évidence l'hétérogénéité des élèves. Ce point important questionne sur ce que nous pouvons faire en classe.

Comme Larochelle et Désautels (1997) l'ont montré, les élèves supposent que les savoirs scientifiques décrivent la réalité telle qu'elle est. En d'autres termes, l'aspect construction par des hommes disparaît. Ils comprennent que les scientifiques travaillent ensemble, sans être toujours d'accord entre eux, mais ils l'interprètent comme un partage réciproque de savoirs qui leur permet d'aller plus vite. Ainsi, les dimensions « *communauté* », « *attitudes* », « *société* » sont très peu présentes et donc disjointes des autres dimensions. Il subsiste finalement une vision réaliste des savoirs.

2. LES DOCUMENTS PENDANT LA SEQUENCE ET LE QUESTIONNAIRE IMMEDIATEMENT APRES

Nous présenterons dans un premier temps les résultats des tableaux, les points de réussites et de difficultés des diagrammes et des carnets de bord remplis par les élèves. Les résultats du deuxième questionnaire seront examinés dans un deuxième temps.

2.1 Les documents pour les élèves

2.1.1 Le tableau

S'agissant des tableaux, presque tous les éléments nouveaux ont été identifiés par l'ensemble de la classe. Un groupe a relevé la lunette astronomique comme un apport significatif, dans la mesure où son utilisation était novatrice. En revanche, les observations de Brahé n'ont pas été repérées par les élèves et le problème de la parallaxe n'est pas un élément pertinent.

Texte	Éléments <i>nouveaux</i>	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
Aristote	Distinction entre la Terre et les cieux	x	x	x	x	x	x	x
	La Terre est immobile au centre du monde					x		x
Ptolémée	La notion d'épicycle	x	x	x	x	x	x	x
Copernic	les planètes tournent autour du Soleil selon un mouvement circulaire uniforme	x	x	x	x	x	x	x
Brahé	Supernova (les étoiles peuvent subir des modifications)	x		x	x	x	x	
	Le problème de la parallaxe					x		x
	Modèle géo-héliocentrique		x	x	x	x	x	x
	Des cahiers très riches en observations							
Kepler	Orbite elliptique	x	x	x	x	x	x	x
Galilée	Lunette astronomique		x					
	Surface de la Lune	x	x	x	x	x	x	x
	Phase de Vénus	x	x	x	x	x	x	x
	Satellite de Jupiter	x	x	x	x	x	x	x
	Chute des corps					x		
Newton	Loi de l'attraction universelle	x	x	x	x	x	x	x

Tableau 36 : les éléments identifiés par les élèves

Au niveau des arguments identifiés, certains relèvent des croyances, alors que d'autres sont observationnels ou théoriques. Si les élèves accordent de l'importance à la cohérence des observations, les valeurs et le travail théorique ne sont pas toujours bien perçus comme arguments. Plusieurs arguments évoqués ont été laissés de côté ou oubliés, comme l'harmonie et la simplicité. Les élèves ont plutôt privilégié les arguments d'observation et de technique. Ils semblent avoir eu plus de difficulté à extraire les idées principales du texte sur Kepler, comme le montre le tableau ci-dessous :

Texte	Arguments	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
Aristote	Présumé relatif à l'existence de deux mondes	x			x	x		x
	Une vision du divin		x	x			x	
Ptolémée	Des hypothèses fictives	x						
	Cohérence de la théorie	x	x	x	x	x	x	
Copernic	Influencé par les écrits platoniciens	x	x	x	x	x	x	
	Influencé par Aristarque de Samos				x			x
	Simplicité de la théorie					x		
Brahé	Liés aux observations	x	x	x	x	x	x	x
	Mathématiquement équivalent à celui de Copernic				x			
	Le problème de la parallaxe							
Kepler	Calcul de l'orbite de Mars		x		x	x		x
	Notion d'harmonie	x						
	Simplicité, précision				x			
Galilée	Idées coperniciennes	x						
	Perfectionnement de la lunette astronomique	x	x	x	x	x	x	
	Cherche à unifier les explications des mouvements terrestres et célestes							x
Newton	S'appuie sur les travaux de Kepler et Galilée	x	x	x				
	Effets sur les orbites des planètes					x	x	x

Tableau 37 : les arguments cités par les élèves

Concernant la religion, les élèves ont clairement identifié les arguments qui sont en faveur ou contre la vision chrétienne. A la question « *sa position contredit-elle la vision cosmologique classique du christianisme ?* », la quasi totalité des élèves a répondu « *oui* » pour Copernic, Galilée et Newton. Toutefois, malgré un modèle héliocentrique avec les orbites elliptiques, seuls 56 % des élèves ont su dire que la position de Kepler contredisait la vision cosmologique classique du christianisme. Ce

texte est aussi certainement plus difficile à saisir. L'autre question : « *le scientifique s'oppose-t-il de façon directe à la religion ?* » fait écho à la question Q1.5 « *Peut-on être scientifique et croyant ?* » du questionnaire initial. Les élèves étaient partagés pour Copernic et Galilée, puisque une partie d'entre eux a répondu de manière incorrecte (respectivement 29 % et 36 %). Pour ces élèves, il est probablement difficile de faire la distinction entre l'institution et la croyance personnelle. La difficulté est sans doute liée à la formulation de la question qui était trop large et pouvait donner lieu à une interprétation différente.

	Sa position contredit-elle la vision cosmologique classique du christianisme ?		Le scientifique s'oppose-t-il de façon directe à la religion ?	
	oui	non	oui	non
Copernic	100%	0	29%	71%
Brahé	29 %	71 %	0	100 %
Kepler	56 %	44 %	0	100 %
Galilée	91 %	9 %	36 %	64 %
Newton	86 %	0	14 %	86 %

Tableau 38 : Les arguments d'ordre « *culturel ou religieux* » et ceux qui vont dans le sens ou contredisent la vision chrétienne

2.1.2 Le diagramme

La construction du diagramme est une manière de travailler l'argumentation avec le niveau habituel très souvent étudié en physique chimie, celui des éléments théoriques et d'observations. Le deuxième niveau concerne les modèles, les théories et les présupposés. Ce niveau « *méta* » est d'autant plus important qu'il n'est pas toujours explicité en classe. Malgré des réponses très succinctes dans les diagrammes, il nous semble cependant important de chercher à saisir la prise de conscience de leur propre raisonnement. La partie médiane fait l'objet d'un apprentissage informel sur l'héliocentrisme qui doit se transmettre au sein du groupe d'élève. En examinant les arguments avancés en lien avec l'observation pour justifier le passage d'un modèle à l'autre, cela amène les élèves à faire le lien entre une explication et les arguments. Certains diagrammes sont corrects, comme celui-ci dessous :

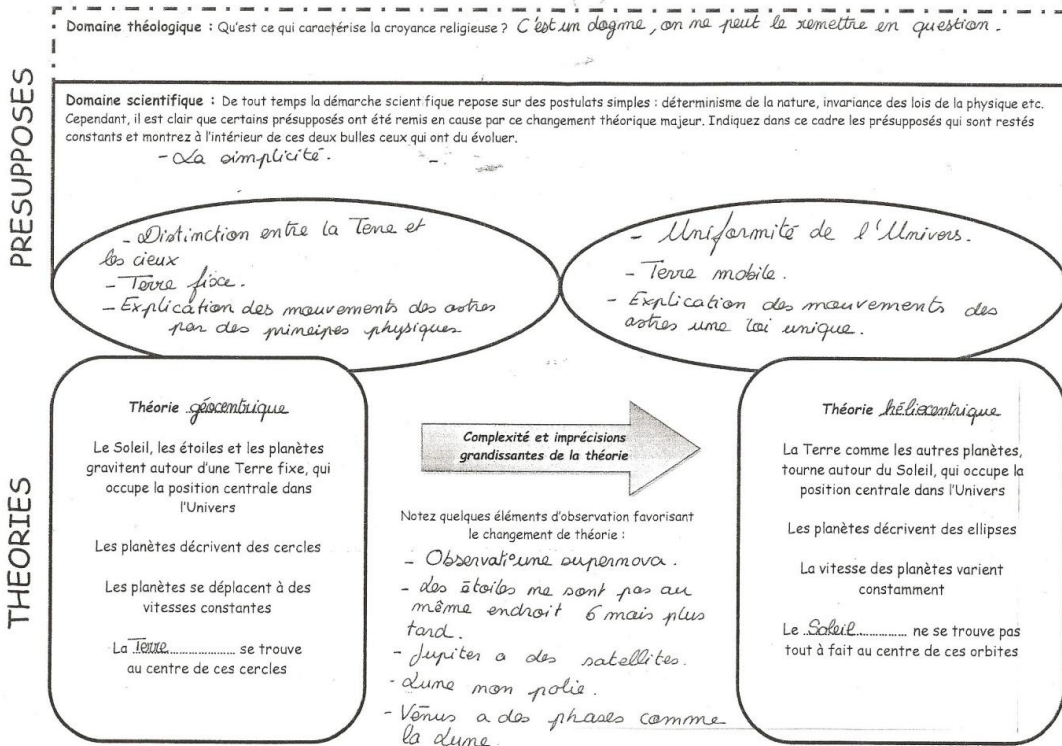


Figure 32 : diagramme du groupe n°1

Alors que d'autres présentent des confusions sur le plan théorique, tel qu'illustré dans le diagramme ci-dessus :

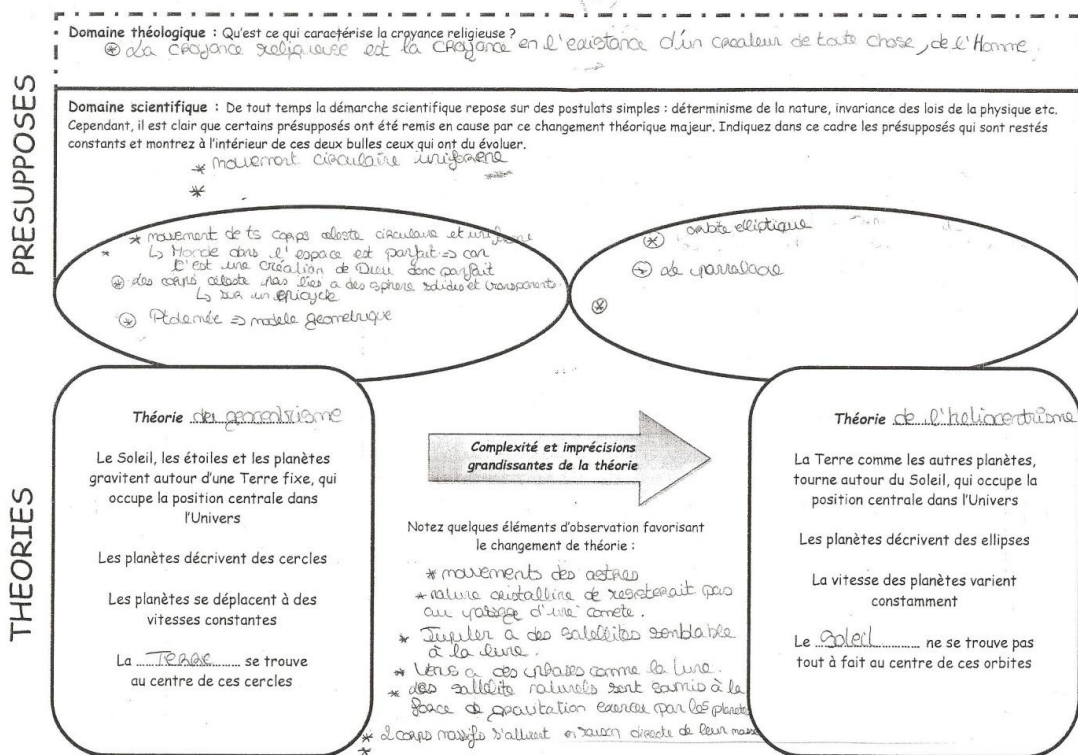


Figure 33 : diagramme du groupe n°5

Entre les deux bulles, par exemple, nous attendions différents phénomènes astronomiques, alors que nous voyons apparaître des éléments théoriques, comme la gravitation ou des présupposés, tels que la nature cristalline des orbes. Les élèves ont bien répondu en plaçant le mouvement circulaire et uniforme dans les présupposés du modèle géocentrique. Pourtant, ils n'ont pas saisi qu'au cours de ce changement de paradigme, l'orbite a changé de statut. La notion d'orbite elliptique est un élément de la théorie héliocentrique et elle aurait dû être placée en dessous. De la même manière, la parallaxe n'est pas un présupposé, mais un élément d'observation astronomique.

Ce résultat rejoint les recherches sur la modélisation (Tiberghien, 1994 ; Buty, 2000) qui mettent en évidence la difficulté de distinguer le modèle et la théorie. Les élèves ne semblent pas avoir pris conscience de cette difficulté, puisque nous verrons qu'ils ne l'indiquent pas dans le questionnaire post-séquence. Par ailleurs, certains élèves placent des observations de phénomènes dans le cadre réservé aux présupposés et n'ont pas toujours rempli le niveau théologique.

2.1.3 Le carnet de bord

La préparation des carnets de bord est un processus qui présente un intérêt en lui-même puisqu'il amène les élèves à réfléchir sur leurs propres difficultés.

Concernant les tableaux, la difficulté la plus fréquemment signalée est la distinction entre les éléments nouveaux et les arguments. Il apparaît clairement que des difficultés persistent à repérer des arguments et à différencier les différents types d'arguments (phénomènes, théories et présupposés) pour les placer dans les diagrammes. Ce n'est pas étonnant étant donné que les activités documentaires et d'argumentation en physique chimie sont très récentes dans les programmes. Souvent les enseignants ne perçoivent pas les enjeux de ce type d'activité.

En outre, un groupe a indiqué que la question de l'opposition à la religion n'était pas évidente au point de demander « *parle-t-on du scientifique ou de la théorie ?* ». Cette

question réfléchie après l'étude des textes est intéressante puisque elle montre que ce groupe a distingué cet aspect. Cela dépend du côté où nous nous plaçons.

Pour les diagrammes, il est intéressant de noter qu'ils mettent en avant des difficultés à distinguer théorie et présupposés. Ils reconnaissent également commettre des erreurs. Aucun commentaire n'apparaît sur la relation entre les observations empiriques et les théories, alors qu'ils font couramment des erreurs conceptuelles dans les diagrammes en mettant des phénomènes dans le monde des théories. Souvent, ils n'ont pas conscience de toute la difficulté des rapports du modèle à la réalité, alors que c'est pour eux un obstacle certain.

Nous pouvons conclure qu'un des enjeux de l'enseignement semble l'argumentation, le lien entre les phénomènes et les explications et la distinction des différents types d'arguments. Il est sans doute nécessaire de consolider et d'améliorer le travail d'explication des termes et concepts scientifiques, comme l'observation, l'explication, l'argument et la synthèse argumentée. Une séquence comme celle-ci est loin d'être suffisante pour cet objectif d'apprentissage. Or ce travail est rarement effectué en physique-chimie, car il est trop souvent éludé avec l'expérience et l'observation.

2.2 Étude des résultats de la classe

Nous présenterons ici les principaux résultats de l'analyse des données recueillies dans la deuxième phase de l'étude du suivi des conceptions. Nous commencerons tout d'abord par la question 1 en lien avec les objectifs de la séquence et les conceptions initiales des élèves. Il semble intéressant de rapprocher ensuite ces résultats avec ceux de la question finale n° 6 sur la métacognition. Enfin, nous examinerons successivement les résultats des questions n° 2 à 5.

2.2.1 Qu'est ce que cette séance vous a appris d'important sur l'élaboration des savoirs scientifiques ?

La première question porte sur la notion d'élaboration des savoirs tout en permettant d'obtenir directement un retour sur la séquence. La question posée était : « *Qu'est ce que cette séance vous a appris d'important sur l'élaboration des savoirs scientifiques ? Expliquez* ». Cette question sollicite une réponse spontanée des élèves et sa lecture peut aussi nous amener à évaluer l'efficacité de la séquence mise en œuvre. Nous pouvons fixer plusieurs objectifs raisonnables de réponses : l'existence et l'évolution des présupposés au sein de la physique ; les deux registres scientifiques et religieux ; la distinction sphère publique et privée ; l'ancrage théorique de l'observation ; le rapport théorie/observation ; et les critères de choix. Il s'agit donc de vérifier si ces différents objectifs sont atteints et s'ils sont réalistes sans être trop difficiles. Cette question se rapproche des questions permettant d'explorer le rapport au savoir de Charlot (1997) et elle correspond quasiment au rapport aux savoirs épistémologiques de la séquence.

2.2.1.1 Des présupposés au sein de la physique

Presque tous les élèves ont répondu à cette question et les résultats font ressortir sept grandes catégories de réponses regroupées dans le tableau ci-dessous :

Catégorie de réponse	nombre
Pas de réponse	2
Argumentation, contradiction	5
Domaine de validité	1
Rôle de l'observation	5
Rôle des présupposés	6
Rapport à la réalité	7
La longue durée qu'il a fallu, « progrès »	7
Religieux	2

Tableau 39 : une réflexion sur ce qui a été appris dans un sens très large

Comme l'indique ce tableau, le rapport à la réalité, le rôle des présupposés et la notion de progrès sont les catégories parmi les plus marquantes. Sept élèves citent les

présupposés, comme Matthieu : « *L'élaboration des savoirs scientifique dépend aussi des présupposés* ». Toutefois, d'autres élèves évoquent la question de l'argumentation en sciences. Par exemple, Clément explique qu'« *Elle m'a appris la manière dont on établit une théorie, dont on la réfute, dont on passe d'une théorie à une autre avec des arguments et la manière dont on défend une théorie* ». La séance semble avoir également modifié le rapport à la réalité de certains élèves. Pierre-Louis indique ainsi qu'« *Elle m'a permis de réfléchir sur le fondement de nos connaissances. Ce qui me semble important, c'est de savoir prendre des distances face aux faits supposés vrais, car cela peut être un frein à l'évolution du savoir scientifique. Il ne faut pas hésiter à se remettre en question.* »

Dans l'ensemble, les élèves ont bien répondu par rapport aux sciences et à leur histoire. Ils n'ont pas mis en avant les connaissances scientifiques (par exemple, les lois de Newton ou de Kepler), ce qui nous indique que les élèves ont respecté le contrat didactique. Blandine explique d'ailleurs que cette séance lui a leur permis de clarifier sa position : « *Contrairement à ce qu'on pouvait croire, l'élaboration des savoirs scientifiques ne repose pas sur l'observation. Une observation neutre n'existe pas, elle est guidée par des théories déjà supposées ou envisagées. De plus, un savoir scientifique n'est pas fixe, donc ce qu'on sait aujourd'hui sera peut-être faux demain, l'élaboration de ces savoirs est un chemin périlleux et constant* ».

Cependant, la question qui se pose est de savoir pourquoi les élèves jugent ces éléments importants et quel est l'impact de ce type de connaissances. Nous le verrons dans la question 6 ci-après.

2.2.1.2 La nature des dimensions

Dans l'ensemble, nous estimons que l'apprentissage a été renforcé, car la nature des dimensions évoquées par les élèves a évolué au cours de la séquence. Nous retrouvons majoritairement la dimension « *temps* », en lien avec notre situation historique. Cependant, treize réponses portent sur la dimension « *Visées et caractéristiques* », onze sur l'« *Élaboration en sciences* » et huit sur la « *communauté* ». De plus, la dimension sociale semble moins représentée, mais elle

demeure très présente. La dimension « *Objet* » a disparu, ce qui semble être le cas dans la plupart des questions suivantes.

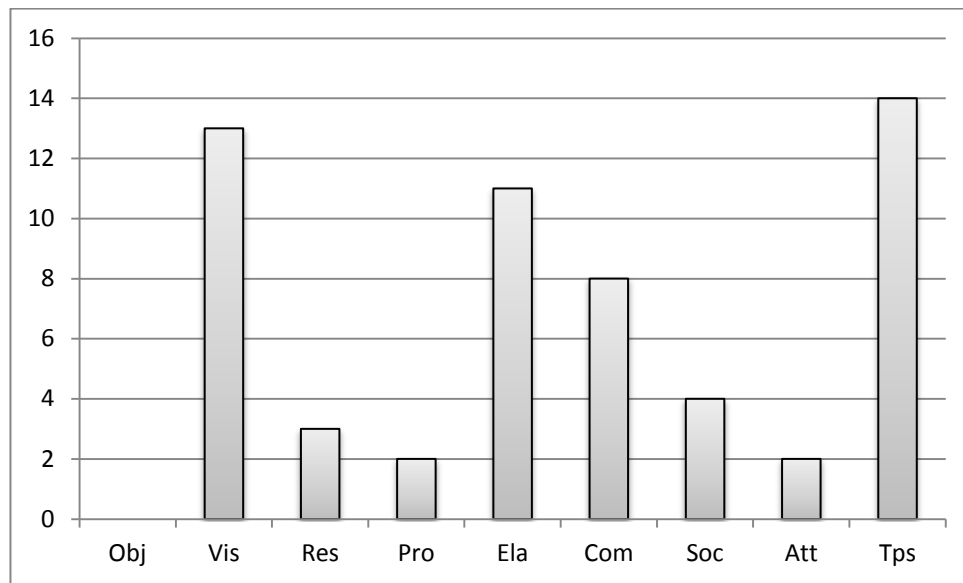


Figure 34 : qu'est ce que cette séance vous a appris d'important sur l'élaboration des savoirs scientifiques ?

2.2.1.2.1 Le temps

Les réponses des élèves montrent que le facteur temps apparaît souvent, le cadre historique reste donc un facteur fondamental de leur réflexion. Les élèves savent que les sciences évoluent et qu'elles se transforment dans le temps. Ainsi, Julien nous apprend que « *L'élaboration des savoirs scientifiques est trouble et change tout le temps, ils reprennent toujours le passé pour l'améliorer* ». Dans cette phrase, le mot « *trouble* » porte un jugement sur l'histoire, il se rapporte à la sous-dimension « *type d'histoire* ».

2.2.1.2.2 Les visées et Caractéristiques générales

Cette seule phrase de Marine : « *Les savoirs scientifiques évoluent toujours, ce sont des présumés ce qui fait de la science une croyance* » illustre bien la dimension « *Visées et caractéristiques générales de la science* ». La présence du mot « *Présumés* », en tant que tel, renforce l'ancrage paradigmatique : les sciences s'inscrivent dans un cadre conceptuel et d'analyse, et l'expression « *science et croyance* » se situe sur la ligne de démarcation entre les différentes disciplines. Ce propos s'inscrit, en plus, dans un contexte temporel plus étendu, marqué par

l'expression « *évoluent toujours* », qui concorde de la sorte avec la dimension « *Histoire* ».

La fin de la phrase d'Antoine : « *Les observations ne sont pas le cœur du travail scientifique, il faut parfois des millénaires pour obtenir une réponse proche de la réalité* » exprime de manière plus explicite le rapport à la réalité (« *proche de la réalité* ») des caractéristiques générales des sciences, tout en étant encore liés à un cadre temporel impératif (« *des millénaires* »).

2.2.1.2.3 L'attitude et la société

Parmi les élèves qui citent d'abord la croyance, la dimension « *attitude* » apparaît fortement. En effet, des présupposés existent dans les sciences, c'est-à-dire une certaine forme de croyance (encore une fois, le problème de la démarcation se pose ici), mais aussi dans l'attitude des scientifiques. Ces derniers sont-ils uniquement dans la composante cognitive rationnelle quand ils font des sciences ? Ou bien existe-t-il aussi une certaine composante qui semble affective et conative et qui n'est pas du tout de l'ordre de la rationalité ? Telle semble être la question qui se pose pour la réponse de Gersende : « *Il faut faire abstraction de tous nos préjugés, de toutes nos croyances pour arriver à interpréter des phénomènes sans influence* ». Une difficulté pour analyser cette phrase vient du mot « *croyance* » qui peut être catégorisé à la fois comme registre scientifique (les croyances dans les sciences), mais aussi comme registre religieux.

Par ailleurs, deux élèves abordent l'Église, et la religion en général, comme un choix de société. Ils mettent en évidence le rôle important que la religion puisse jouer. Tel est le cas, par exemple, de la réponse d'Emeric : « *La religion a joué un rôle important sur les recherches scientifiques* ».

2.2.1.2.4 L'élaboration

La réponse de Mary : « *Il ne faut pas établir une explication sur une simple observation* » contribue à une ligne de conduite de la dimension « *Élaboration en sciences* ». En particulier, elle fixe des critères complémentaires et des règles plus spécifiques au sens de la sous-dimension « *Règles et valeurs associées* ».

Un autre exemple est celui de Blandine : « *Contrairement à ce qu'on pouvait croire, l'élaboration des savoirs scientifiques ne repose pas sur l'observation. Une observation neutre n'existe pas, elle est guidée par des théories déjà supposées ou envisagées. De plus, un savoir scientifique n'est pas fixe, donc ce qu'on sait aujourd'hui sera peut-être faux demain, l'élaboration de ces savoirs est un chemin périlleux et constant* ».

2.2.1.2.5 La communauté

La réponse de Nacer constitue un exemple simple de codage : « *À quelques années près les scientifiques se contredisent beaucoup, par exemple sur le géocentrisme et l'héliocentrisme* ». Cette phrase présente une dimension « *Histoire* » (à quelques années près), mais aussi « *Communauté* », car il explique dans ses propres mots que les scientifiques ne sont pas d'accord entre eux (contradiction apparente). La sous-dimension correspondante est les « *relations au sein de la communauté scientifique* », puisque l'autre sous-dimension « *Construction collective du savoir* » se réfère aux argumentations qui font partie des discussions entre chercheurs.

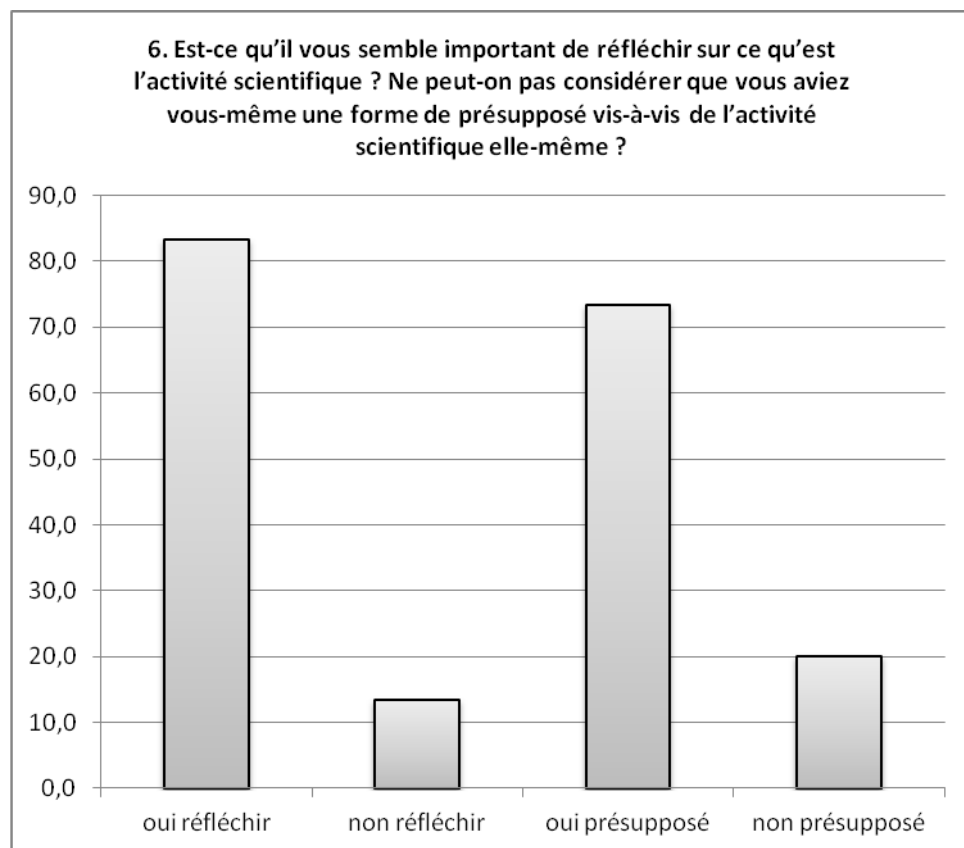
2.2.2 Est-ce qu'il vous semble important de réfléchir sur ce qu'est l'activité scientifique ? Ne peut-on pas considérer que vous aviez vous-même une forme de présupposé vis-à-vis de l'activité scientifique elle-même ?

Dans la dernière partie du questionnaire, une fois ces constats établis, il était demandé aux élèves (Question 6) « *Est-ce qu'il vous semble important de réfléchir sur ce qu'est l'activité scientifique ? Ne peut-on pas considérer que vous aviez vous-même une forme de présupposé vis-à-vis de l'activité scientifique elle-même ?* » La première partie de la question porte sur la place de la réflexion sur les sciences dans la formation d'une personne, et en particulier d'un scientifique. La deuxième partie correspond à leur propre bilan de leur propre évolution : nos conceptions sont dépendantes d'un contexte, et donc de présupposés. Elle reste plus large que la précédente : il s'agit de leurs conceptions et non pas ce qui est le plus important. Elle appelle une réponse sur les hypothèses en lien avec les réponses prévues au questionnaire 1.4, autrement dit, nous leur demandons s'ils ont conscience d'avoir

une vision naïve. L'idéal serait d'avoir une adéquation entre notre analyse et leur formulation. Nous pouvons néanmoins nous attendre à des réponses « naïves » expliquant que l'activité scientifique actuelle semble de moins en moins liée à des présupposés.

2.2.2.1 Le rapport à l'innovation et la métacognition sur leurs conceptions

Dans un premier temps, nous scindons chacune des réponses en deux parties : celles qui portent sur l'importance de réfléchir, et celles qui renvoient à une image de l'activité scientifique. Certains élèves ne répondent qu'à l'une des deux parties.



2.2.2.2 Réfléchir sur l'activité scientifique

Les réponses à cette question comptent aussi plusieurs aspects :

- La place de la réflexion pour l'apprentissage ;
- La place ou le rôle des sciences ;
- Quelques éléments sur les sciences (comme la vérité, l'évolution, etc.).

Très peu d'élèves soutiennent qu'il n'est pas important de réfléchir sur ce qu'est l'activité scientifique. Jimmy et Emeric considèrent que cette activité reste difficile et Rudy répond : « *Non, car il y a des théories plus importantes sur lesquelles il faut réfléchir.* » Pour ce dernier, nous sommes en dehors du contrat didactique. Ce résultat se retrouve chez Slaïmia (2014) dans la deuxième classe qui était plus faible où certains élèves affirmaient que d'autres choses plus importantes sont à faire. D'après cette même question, 83 % des élèves interrogés pensent qu'il semble important de réfléchir sur l'activité scientifique, comme Benjamin qui répond « *Il est important de donner le but de rechercher la vérité à la science sinon à quoi servirait des connaissances inexactes ?* ». Nous pouvons nous interroger sur l'importance accordée par Benjamin à cet objectif, le but des sciences est-il uniquement de tendre vers la vérité ?

Certains se projettent en tant que futurs scientifiques tels que Clément : « *cela nous concerne. Si nous sommes en S, nous serons impliqués plus tard dans l'activité scientifique* ». Tandis que Quentin ne se positionne pas en tant que scientifique « *Oui, car la science peut nous apprendre beaucoup de choses* », comme Jérémy : « *La science permet de mieux comprendre le monde qui nous entoure.* » Les sciences font simplement partie de leur culture et Manon ajoute : « *cela est important, car cela nous concerne tous.* ». Pour les élèves en Terminale scientifique qui font des sciences, l'idée maîtresse demeure que cette construction de l'image des sciences va se faire toute seule. Pourtant la réflexion sur les sciences reste importante pour ceux qui ne deviendront pas scientifiques. D'ailleurs, selon la filière la place de la réflexion sur les sciences ou la vision des sciences transmise semble plus ou moins riche. Les interactions sciences et sociétés s'avèrent davantage mises en avant dans la filière littéraire.

L'argumentation de plusieurs réponses repose sur une idée des sciences plus ou moins explicitée. Ainsi, l'activité scientifique s'appuie sur les recherches antérieures, comme le rappelle Lucile : « *Oui, on se base sur des théories déjà établies* ». Les connaissances scientifiques sont des prérequis à l'élaboration de nouvelles théories. Tandis que Richard note que cette activité lui permet de savoir ce que sont les sciences et de comprendre comment les scientifiques travaillent : « *Il est important pour nous qui travaillons les sciences d'en savoir son essence et du comment*

travailler en science. Il faut savoir être ouvert et non dogmatique en science pour aller plus loin. »

D'autres réponses développent l'argument de l'apprentissage des savoirs scientifiques. Matthieu ne parle pas en tant que futur scientifique. L'idée demeure qu'il est en Terminale scientifique et qu'il doit réussir l'examen du baccalauréat. Pourtant, nous pouvons nous demander si cette séquence aide à l'apprentissage : « *C'est important, car on ne sait pas d'où viennent ces calculs.* » Ce passage montre clairement que le fait de savoir comment les choses ont été élaborées aide à la compréhension des savoirs scientifiques.

Finalement, nous ne dégageons que peu d'informations sur cette première question. Nous constatons la résistance de certains élèves qui considèrent qu'il n'est pas important de réfléchir à l'activité scientifique. Seuls ceux qui se placent du côté scientifique semblent être intéressés par cette réflexion.

2.2.2.3 Une forme de présupposé vis-à-vis de l'activité scientifique elle-même ?

Dans un deuxième temps, nous avons souhaité identifier quel aspect des sciences est mis en valeur. Les élèves ont-ils conscience de l'évolution de leurs propres représentations ? Quelle est l'importance de cette évolution ? Par exemple, Inès évoque une prise de conscience personnelle par rapport à sa propre formation : « *C'est à chacun de nous de le développer* ». La comparaison des questions amène-t-elle les élèves à un écart ou une concordance ? Ces réponses nous apportent quelques éléments de l'image des sciences des élèves et leur positionnement épistémologique.

2.2.2.4 La nature des dimensions

L'histogramme ci-après montre la distribution des fréquences des dimensions tirées des réponses des élèves. Les réponses peuvent être regroupées en deux catégories distinctes : la place de l'observation et le rapport du modèle à la réalité.

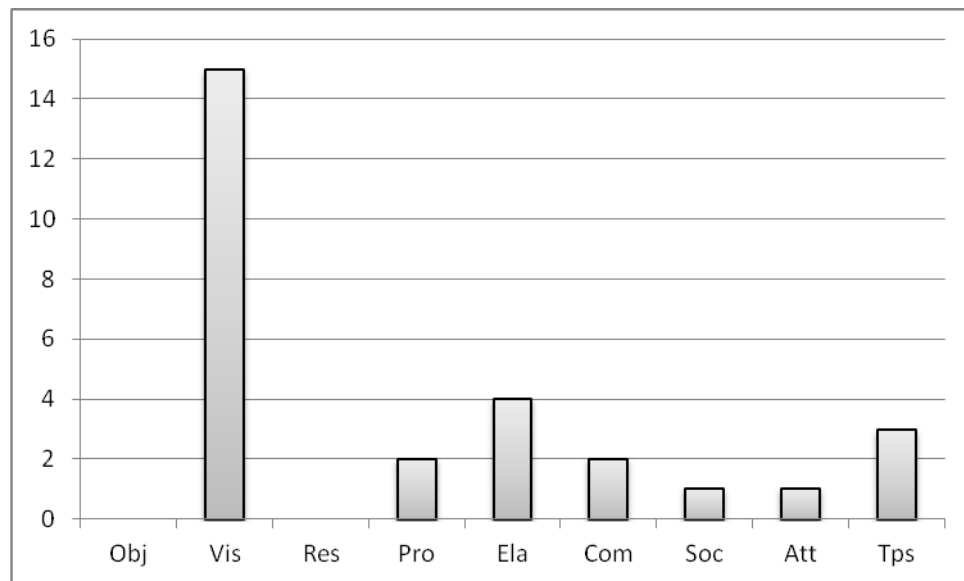


Figure 35 : ne peut-on pas considérer que vous aviez vous-même une forme de présumé vis-à-vis de l'activité scientifique elle-même ?

2.2.2.4.1 Place de l'observation

Les dimensions des « *Produits* » et de l'« *élaboration* » mettent en lumière la place de l'observation. Matthieu, par exemple, considère que la place de l'observation a évolué : « *On croit que les scientifiques font que des lois à partir de leurs observations* », comme Mary qui pense que « *l'observation était importante* ».

2.2.2.4.2 Rapport modèle/théorie à la réalité

La dimension la plus importante est celle des « *Visées et caractéristiques* ». Elle concerne le rapport du modèle à la réalité qui semble avoir évolué. Benjamin, par exemple, pensait que les sciences parvenaient à représenter la réalité et donc elles expliquaient absolument tout : « *On considère que la science serait capable de tout expliquer ; c'est peut-être faux* ». Quentin nuance aussi son point de vue en précisant qu'« *avant je supposais que tout ce que la science disait était vrai* ». En outre, Manon utilise exceptionnellement la première personne pour donner à son propos une valeur générale : « *je peux avoir une forme de présumée, car le monde que nous connaissons jusqu'à maintenant n'est peut être pas la réalité. En effet, les scientifiques n'ont pas forcément raison* ».

En définitive, la plupart des élèves disent découvrir un autre aspect de la pratique scientifique. Une minorité évoque directement les difficultés d'une telle approche. En fin de compte, prenant en considération la nature des sciences, ils semblent avoir pris conscience que l'histoire des sciences ne peut pas se limiter à la présentation d'expériences cruciales, simplement associées à un nom et une date.

2.2.3 Comment expliquez-vous que Ptolémée et Copernic défendent des positions différentes ?

La réponse à cette question fondamentale nécessite une bonne compréhension de l'ancrage théorique de l'observation. Au-delà des modèles scientifiques, il semble important de comprendre qu'une théorie, elle-même, n'est pas neutre, mais résulte d'un ensemble de présupposés culturels qui lui donnent une forme précise.

La réponse souhaitée reste celle du précédent paragraphe, mais avec un niveau de formulation adapté. Nous pouvons nous attendre à une réponse naïve des élèves qui n'ont pas évolué. Cette vision pourrait chercher à remettre en cause l'observation ou la compréhension même du phénomène. Une vision partielle pourrait porter sur le rôle de la religion. L'élève peut ne pas avoir saisi pleinement le rôle des présupposés et en pointe un seul qu'il généralise.

2.2.3.1 La notion de subjectivité

Concernant leur positionnement, une majorité des élèves considère que leur conception de l'activité scientifique a changé. Directement interpellés par la question, ils prennent facilement position, que ce soit pour s'y opposer ou pour approuver. Par souci de simplicité, nous avons donc regroupé les réponses en cinq catégories : contexte sociétal ; croyance et religion ; démarche ; présupposés et cadre conceptuel ; et pas d'argument.

Pour cette question, nous avons veillé à prendre toutes les catégories de réponses en compte et à indiquer si une réponse relève de plusieurs catégories. Par exemple, la réponse de Benjamin mentionne plusieurs auteurs et indique qu'il faut « *croiser les sources* ». Sa réponse peut être catégorisée en tant que contexte sociétal au sens large,

mais aussi en tant que démarche scientifique. Concernant le registre religieux, tous les élèves n'utilisent pas le terme religion. Il s'agit parfois uniquement du mot croyance.

Argument	code	nombre
Pas d'argument	NP	2
Contexte sociétal (historique, culturel)	Ctxt	7
Croyance/Religion	Rel	6
Démarche (ou élaboration)	Dem	13
Pré-supposés/cadre conceptuel (observation inscrite)	Pré	10

Tableau 40 : les arguments évoqués concernant la subjectivité

Schématiquement, l'argumentation de près de 40 % des réponses s'appuie sur une méthode de recherche qui reste l'observation. Mélissa indique que « *Les méthodes de recherches n'étaient pas les mêmes. Ils n'ont donc pas pu avoir les mêmes idées* ». Marine affirme que « *Ptolémée s'appuie sur ce qu'il voit, sur ce qu'il observe alors que Copernic ne s'appuie pas sur l'observation* ». Nous généralisons cette approche en ajoutant que, dans un cas, Ptolémée observe, alors que dans l'autre cas Copernic ne se limite pas aux observations. Ainsi nous codons l'observation dans la catégorie « *démarche* ».

Un tiers des élèves (30 %) évoque les pré-supposés (pensée, idées ou point de vue) sur lesquels repose le modèle copernicien, mais aussi les phénomènes qui ne sont pas expliqués par Ptolémée. Certains présentent les différents éléments théoriques (les apparences du ciel) qui y sont liés ou des noms de scientifiques étudiés en classe et se réfèrent aux contenus des documents étudiés.

2.2.3.2 La nature des dimensions

Les réponses contiennent plusieurs termes appartenant à la dimension « *Temps* ». Pierre-Louis précise, par exemple, qu'« *Ils vivent à des époques totalement différentes.* » Nacer rappelle qu'« *Ils n'ont pas vécu à la même époque* ». Benjamin suggère « *plusieurs auteurs avant lui* ». Par contre, la phrase de Jérémy se distingue des précédentes : « *Copernic avait plus d'information à sa disposition* ». Dans l'ensemble, le scientifique postérieur a nécessairement plus d'informations. Puisqu'ils ne vivent pas au même moment, cette phrase semble en lien direct avec la

dimension « *ressources* », ce qui manifeste sans doute un point de vue différent de celui des autres.

Les présupposés sont mis en évidence en tant qu'éléments impliqués dans la transformation et la construction culturelle et temporelle du monde qui nous entoure : « *Un scientifique (comme Ptolémée et Copernic) reste avant tout un être humain et donc peut se tromper et être influencé. Il peut être influencé par sa société, ses propres croyances. Ces deux scientifiques ont vécu dans deux époques totalement différentes, il va de soi que leur analyse est différente l'une de l'autre* » (Blandine). Dans un registre plus psychologique, Lucile rappelle qu'« *Ils avaient des présupposés différents* ».

Nous notons que certaines phrases ne proposent pas de réelles justifications, la réponse paraît quasiment redondante avec la question. Nous y retrouvons des termes et des expressions, comme « *Ils n'ont pas le même point de vue* » (Julien), « *ils n'ont pas la même façon de penser* » (Justine), ou « *Ils n'ont pas les mêmes idées ou le même esprit* » (Jimmy). La seule nuance que nous voyons, sont les réponses où apparaît une expression synonyme de position (ils n'ont pas le même point de vue, les mêmes idées) et une qui semble plus large (le même esprit, façon de penser).

Enfin, quelques élèves évoquent la religion, ou la croyance en un Dieu, comme Charles : « *Ils ne défendent pas la même chose, l'un défend la théologie et l'autre défend la science* » et Emeric « *Le détachement à la religion* ». Ces arguments, qui relèvent de la dimension « *Société* », n'offrent qu'une vision partielle des enjeux et des difficultés liées aux présupposés. Ces élèves n'ont pas saisi pleinement leurs rôles et n'en pointent qu'un seul (le rôle de la religion) qu'ils généralisent.

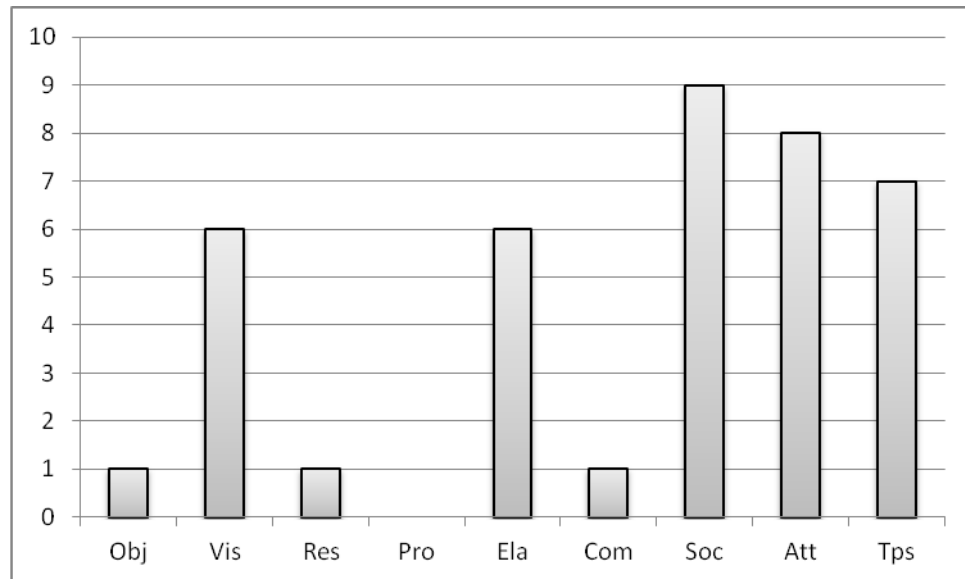


Figure 36 : comment expliquez-vous que Ptolémée et Copernic défendent des positions différentes ?

Ces résultats semblent montrer que les élèves ont retenu que le fonctionnement de l'activité scientifique résulte d'un long travail dans un contexte social et culturel donné. En outre, ils semblent avoir pris conscience des différents niveaux de « tensions » et d'« accords » pour que les choses évoluent. Ils mettent en évidence que le contexte influence les scientifiques et ils réalisent ainsi que les observations ne sauraient suffire à établir une théorie.

2.2.4 Une lecture attentive des textes vous montre que la plupart de ces grands scientifiques étaient croyants, pensez-vous que cela ait pu avoir une grande influence sur leur travail en tant que scientifique ?

Tous les grands savants de la révolution copernicienne étaient, à des degrés divers, imprégnés de religion. Parmi eux, certains vont plus loin et se laissent guider par leur foi, comme moteur de leur travail scientifique. Ensuite, l'œuvre, et donc les résultats, ne fait plus apparaître cette dimension religieuse. Dans quelle mesure, pouvons-nous parler de conflits entre sciences et religion, ou bien, au contraire, de la religion comme source de l'inspiration scientifique ? Les sciences et la religion sont effectivement deux réponses à deux questions différentes : compréhension de la nature versus sens de l'existence, elles ne sont pas en concurrence. D'ailleurs, les textes scientifiques correspondent à un discours sur le monde, notamment par des lois

ou des modèles avec certaines caractéristiques. À aucun moment, le mot divin ou celui de Dieu n'apparaît, sinon il existerait une collusion des discours. Donc pour dire qu'un texte est scientifique, la première chose à faire est de déterminer quels sont les mots utilisés. Le discours scientifique demeure un discours impersonnel qui se rapporte à la fois au monde des phénomènes et à celui des connaissances, c'est-à-dire au monde des modèles. Les scientifiques n'emploient pas de pronom de la première personne dans leur discours. Ils se retranchent derrière le pronom « *on* » qui a une valeur élargie, comme dans l'expression « *on décrit le monde* ». La personne s'efface et le discours produit (ou fini) ne fait plus apparaître le caractère subjectif.

Cette question permet de vérifier si les objectifs sont atteints. Quelle est la place de la croyance dans les sciences ? Est-ce que des croyances existent dans les sciences ? La croyance doit s'effacer dans le produit final (le discours porté sur le monde) d'où la réponse qui peut être « *non* ». Pourtant telle que la question est formulée, le mot croyant renvoie à religion. Ainsi la croyance peut-être un moteur à la recherche de réponses ou d'explication. Les élèves peuvent donc répondre « *oui* », parce que les scientifiques ont certainement un ancrage constitué de présupposés, ce que nous retrouvons dans la grille sous l'expression « *La science s'inscrit dans un cadre conceptuel et d'analyse* ». Nous pouvons aussi nous attendre à des arguments qui portent sur la dimension « *attitude* », car il semble possible d'avoir une attitude d'adhésion, de crédulité, autrement dit sans aucun questionnement, ce qui demeure assez différent de l'attitude recherchée en sciences.

2.2.4.1 Les réponses sur le rapport sciences et croyances

Les réponses montrent que les deux tiers des élèves pensent que les croyances de la plupart des grands scientifiques ont pu avoir une influence.

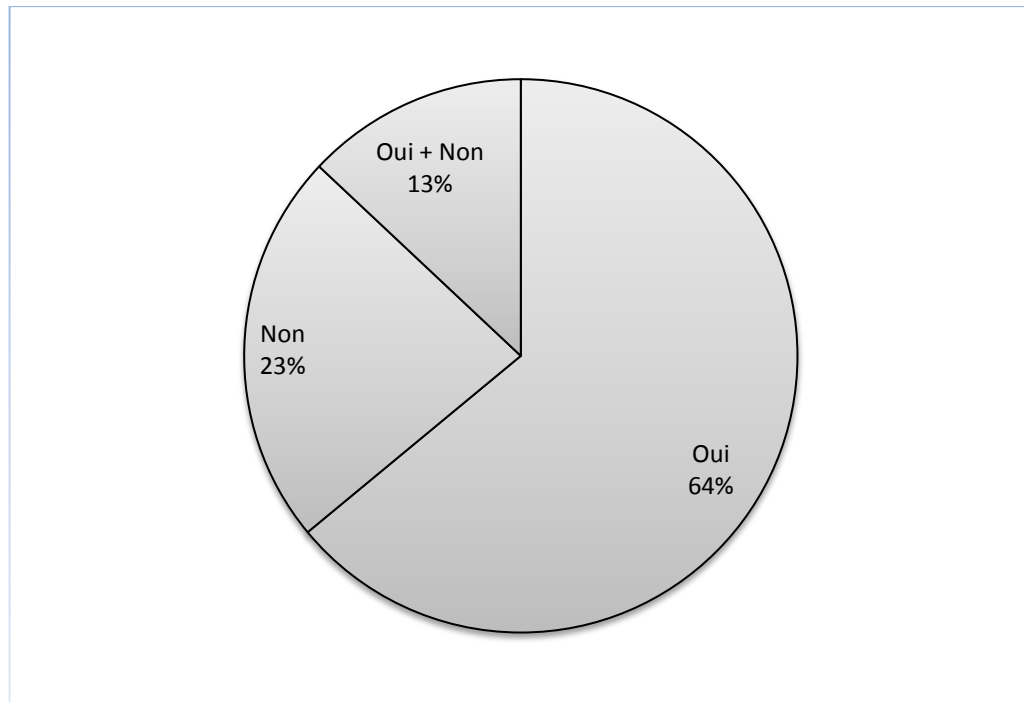


Figure 37 : une lecture attentive des textes vous montre que la plupart de ces grands scientifiques étaient croyants, pensez-vous que cela ait pu avoir une grande influence sur leur travail en tant que scientifique ?

Dans le précédent questionnaire, la question (Q1. 5) était de savoir s'il était possible d'être scientifique et croyant. La question ici (Q2.3) suppose explicitement que les scientifiques l'étaient. Nous cherchons donc à déterminer comment les élèves expliquent ce rapport entre sciences et religion. Les deux types de réponses « *oui* » et « *non* » renvoient à différentes façons de penser.

Si la case cochée est « *oui* », l'influence des croyances se manifeste de plusieurs manières. D'une part, elle concerne les explications : Julien répond « *oui* » et il se positionne par rapport aux textes : « *Si on regarde certains textes, on peut voir qu'ils font référence à Dieu, avec par exemple la Lune, parfaite et divine* ». D'autre part, elle peut porter sur la démarche. Nacer, par exemple, justifie l'influence des croyances par rapport au processus scientifique, puisqu'il répond que « *La religion, la croyance joue toujours un rôle dans une prise de décision ou de raisonnement* ». Toutefois, Nacer ne semble pas séparer les deux registres. Enfin, elle peut agir sur l'attitude ou la motivation. Richard souligne que la foi est un moteur, mais nous arrivons à faire les deux : « *Oui, car cela a pu leur donner davantage de ferveur pour comprendre le monde, pour s'approcher de la connaissance de Dieu (motivation)* ».

Mais non, car cela ne les empêche pas d'avoir l'esprit scientifique ». Les sciences sont compatibles avec la religion, car Richard raisonne sur le plan du processus et il considère que les scientifiques savent faire la part des choses.

Les élèves qui répondent « non » à la question y voient une incompatibilité et un conflit fondamental entre la religion et les sciences. Toutefois, quatre élèves ont coché les deux cases « oui » et « non », comme Mary qui rappelle que « *pour certain comme Ptolémée, la croyance faisait qu'il refusait toute explication qui s'opposait à la religion. D'autres ont réussi à passer outre* ».

Pour cette question Q2.3, nous avons repris le codage de la question Q1.5 qui correspond aux cinq catégories suivantes : contradiction ; confusion ; séparation ; n'en parle pas et oui, cela existe — pas d'argument. La question ne se prêtait pas à cette dernière catégorie.

Rapport entre sciences et croyances	code	Pourcentage (N=30)
N'en parle pas	Cr.0	3 %
Oui, cela existe — pas d'argument	Cr.1	0 %
contradiction	Cr.2	10 %
confusion	Cr.3	50 %
séparation	Cr.4	37 %

Tableau 41 : le rapport entre sciences et croyances (Q2.3)

Ce tableau montre que seuls trois élèves relèvent une contradiction entre sciences et religions. Leur explication se limite au niveau des résultats scientifiques et des textes religieux. Quinze élèves ne séparent pas sciences et religions (confusion). Ils présentent deux types d'arguments : des arguments portant sur le processus et la démarche de recherche et des arguments sur les résultats scientifiques. Onze élèves font une claire séparation entre sciences et religions et leur réflexion porte sur l'attitude à adopter vis-à-vis des croyances. Parmi ces derniers, deux élèves notent que cela dépend des individus.

2.2.4.2 La nature des dimensions

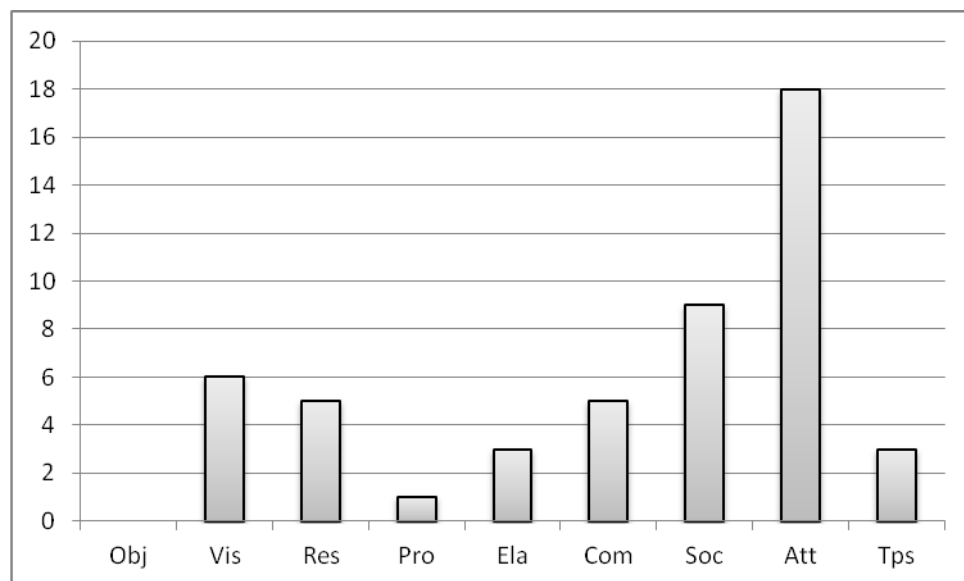


Figure 38 : une lecture attentive des textes vous montre que la plupart de ces grands scientifiques étaient croyants, pensez-vous que cela ait pu avoir une grande influence sur leur travail en tant que scientifique ?

Les élèves font souvent référence à l'attitude (croyance). L'exemple d'Inès, qui écrit qu'« *Une personne croyante ou non croyante peut sans doute s'appuyer sur des choses différentes et avoir une vision plus fermée ou plus ouverte sur la science* », peut correspondre à une vision nuancée. Il s'agit généralement de la qualité intellectuelle (qui a trait à la personne), mais pas uniquement. Nous retrouvons ainsi sous cet argument l'idée, par exemple, de savoir faire la part des choses ou d'accepter la critique. Cette justification correspond à la fois aux méthodes du scientifique, mais aussi à son ouverture aux autres et au monde qui l'entoure. Elle se rapporte à son engagement dans une démarche ou, au contraire, à une attitude de fermeture, à la manifestation d'un blocage.

Les élèves mentionnent également que les scientifiques peuvent arriver à séparer la croyance et le reste, comme l'affirment Richard « *Mais non, car cela ne leur empêche pas d'avoir l'esprit scientifique* », Mary « *D'autres ont réussi à passer outre* » ou bien Lucile « *Tout dépend s'ils peuvent séparer leurs croyances de leurs activités scientifiques* ». L'idée est que nous pouvons avoir des croyances à condition de savoir les séparer. Pourtant, ces élèves notent aussi que les scientifiques ont des croyances qui posent parfois problème. Dans la dimension « *Élaboration en sciences* », les croyances peuvent être un frein au développement des sciences, comme l'indique

Mary : « *la croyance faisait qu'il refusait toute explication qui s'opposait à la religion* ». Au contraire, les sciences et les croyances peuvent coexister, comme l'écrit Richard « *cela a pu leur donner davantage de ferveur pour comprendre le monde* ». Mary et Richard se situent dans la dimension « *attitude* », mais ils l'expriment différemment. Leurs réponses coïncident bien avec les deux sous-dimensions qui sont les « *composantes cognitives* » et les « *composantes affectives et conatives* » de cette dimension. La première se rapporte à l'intellect et au raisonnement (esprit scientifique), tandis que la seconde paraît plutôt en lien avec l'affectif auquel nous associons le mot ferveur. La grille de Maurines *et al.* permet ainsi de mettre en avant chez ces élèves différents aspects de la dimension « *attitudes* » détectés dans les programmes. Elle nécessite d'être enrichie pour mettre en évidence la coexistence possible (ou non) exprimée par les élèves. Richard explique qu'elles peuvent coexister. Si Richard explique qu'elles peuvent coexister, d'autres élèves, comme Mary, considèrent que cette coexistence reste impossible, la croyance bloque complètement le développement scientifique. Certains exposent en plus des conditions de coexistence : « *il faut savoir le faire* » afin d'en justifier la complexité.

Pour Nacer, la croyance a toujours joué un rôle déterminant, qu'il soit positif ou négatif : « *La religion, la croyance joue toujours un rôle dans une prise de décision ou de raisonnement* ». Alors que Mary souligne le rôle négatif des croyances : « *Pour certain comme Ptolémée, la croyance faisait qu'il refusait toute explication qui s'opposait à la religion. D'autres ont réussi à passer outre.* » L'explication doit être compatible avec la religion, c'est-à-dire que les sciences doivent donner le même type de résultats que la religion. Cette réponse va bien au-delà de la question de démarcation. Elle tend à privilégier une vision concordiste. Nous classons cette partie de la phrase dans la dimension des « *Visées et caractéristiques* », voire dans la dimension « *produits* », car la réponse semble un peu plus riche avec la notion d'explication. Elle s'inscrit dans la sous-dimension « *produits intellectuels* » et la caractéristique de ces produits est d'être compatible avec les explications religieuses.

Emeric précise que « *le doute sur leur résultat les a ralenti dans leur recherche* ». Cette réponse peut être codée dans la dimension « *Temps* », plutôt qu'« *Élaboration*

en sciences », car il suppose que le progrès scientifique n'est pas linéaire. Nous pouvons aussi la coder dans « *attitude* », car il utilise le mot « *doute* ».

La croyance demeure un élément de leur explication (ressource explicative). Sur le plan des dimensions, certaines réponses sont équivalentes. Par exemple, Mélissa ajoute que « *Ces scientifiques ne se réfèrent pas tous aux écrits* » se rapproche de la réponse de Julien : « *Si on regarde certains textes, on peut voir qu'ils font référence à Dieu, avec, par exemple, la Lune, parfaite et divine* ». La référence à Dieu et les écrits, interprétés comme écrits religieux, étant donné le contexte dans lequel nous travaillons (ce qui laisse place à une part de subjectivité), correspondent à la dimension « *ressources* ». Cependant, la réponse de Julien va plus loin encore, car, il explicite finalement comment le registre religieux intervient dans l'écrit scientifique.

Quand Nacer répond « *La religion, la croyance joue toujours un rôle dans une prise de décision ou de raisonnement* ». Le début de sa phrase s'inscrit probablement dans la dimension « *Ressources* » (avec religion, rôle). Pourtant, la fin de la phrase fait allusion à une activité intellectuelle de l'activité scientifique. Elle se situe donc plutôt dans la dimension « *Elaboration en sciences* » (avec une prise de décision, un raisonnement), car la façon de raisonner semble bien élaborée et la religion a un rôle dans cette élaboration.

Les réponses les plus longues contiennent souvent plusieurs dimensions et requièrent un codage complexe. Par exemple, pour cette question, Mathieu répond qu'« *Ils ont été aveuglés par la religion expliquant tout ce qu'ils n'arrivaient pas à expliquer par Dieu et durant des siècles les mentalités étaient bloquées sur une théorie à cause de la religion* ». Cette phrase englobe plusieurs dimensions avec, principalement, celle de la « *Communauté* » qui correspond à la sous-dimension « *Caractéristique de ses membres* » avec la catégorie « *Ancrage culturel, temporel et spatial* ». Néanmoins étant donné que nous ne savons pas de qui Mathieu parle (« *les mentalités* »), elle peut aussi s'ancrer dans la dimension « *Société* ». Par ailleurs, l'expression « *à expliquer par Dieu* » indique que Dieu est une forme de ressource et s'inscrit donc dans la dimension « *Ressources* » et le verbe « *aveugler* » se rapporte à la dimension « *Attitude* ». Enfin, l'expression « *durant des siècles* » se rapporte à la dimension « *temps/histoire* ». Finalement, la phrase de Mathieu rejoint beaucoup ce qu'affirme

le programme dans la mise en perspective historique : « *La science a été élaborée par des hommes et des femmes vivant dans un contexte temporel, géographique et sociétal donné.* » Ce passage semble faire allusion à ces résistances intellectuelles très importantes.

2.2.5 Cet exemple célèbre de l’astronomie vous montre que les sciences sont en perpétuelle évolution, cela signifie-t-il que Ptolémée (par exemple) était dans l’erreur ? Si oui peut-il être encore selon vous considéré comme un scientifique ?

Ptolémée est reconnu par la communauté comme un scientifique. Sa démarche l’est également dans la mesure où il modélise un système du monde avec une démarche cohérente, confrontée et validée par des données empiriques. Elle a donné de nombreux résultats, bien que perfectibles. Son modèle était pertinent et relativement simple pour une classe de phénomènes donnés. Il n’est pas surprenant qu’il porte la marque de son époque. Seulement parler d’erreurs suppose qu’il existe une norme à laquelle le modèle de Ptolémée est comparé. Si la norme implicite reste l’état des connaissances présentes, cela pose problème sur le plan méthodologique en histoire des sciences.

Le point intéressant soulevé par cette double question concerne la place de l’erreur et le rapport du modèle à la réalité. Si la norme implicite demeure la réalité, cela suppose que nous puissions l’atteindre. Dans cette question, le mot « *erreur* » est utilisé dans le but de questionner les élèves de manière provocante afin de susciter le débat autour de la définition d’un scientifique. Un scientifique peut-il se tromper ? Que nous apprend-il de la nature (rapport du modèle à la réalité) ?

Cette question porte sur l’importance de l’approche scientifique du monde (qui semble rationnelle) dans l’optique d’approfondir la compréhension de la nature des sciences. Les sciences ne doivent pas être considérées comme un concept figé. À de multiples égards, l’incertitude demeure sur le plan scientifique, mais la recherche a permis de grands progrès sur le plan des connaissances. Il faut avant tout reconsidérer l’activité scientifique à une époque donnée. L’objectif est que les élèves prennent

conscience de l'existence et de l'importance du contexte. Ainsi, dans cette question, deux éléments coexistent : d'une part, la place de l'erreur chez un scientifique (est-ce que Ptolémée était dans l'erreur ?), d'autre part, est-ce qu'il peut être considéré comme un scientifique ? Pour y répondre, il existe donc trois possibilités :

- Non, Ptolémée n'était pas dans l'erreur relativement à son époque ;
- Oui, Ptolémée était dans l'erreur, et non, il ne peut pas être scientifique ;
- Oui, Ptolémée était dans l'erreur relativement à notre époque mais oui il peut être scientifique.

Après enseignement, nous nous attendons encore à quelques réponses « naïves », c'est-à-dire que les sciences sont vraies, parfaites et définitives. Ces conceptions continuent probablement à exister, parce que ce sont des obstacles résistants. Nous espérons surtout une évolution des réponses. Comme le décrit Schwartz, Norman G. et Judith S. Lederman (2008) dans leur étude, ce changement passe par des réponses intermédiaires qui peuvent exister entre une vision naïve et une vision correcte. Cette question nous permet aussi d'explorer les représentations des élèves sur le scientifique, son rôle dans l'élaboration des savoirs et la description de la réalité.

2.2.5.1 La question de l'existence réelle/matérielle du modèle et celle du rapport du modèle à la réalité

Le positionnement des élèves sera probablement moins tranché sur cette question n° 4 : « *Cet exemple célèbre de l'astronomie vous montre que les sciences sont en perpétuelle évolution, cela signifie-t-il que Ptolémée (par exemple) était dans l'erreur ? Si oui peut-il être encore selon vous considéré comme un scientifique ?* » Comment les élèves interprètent-ils l'idée que le système Ptoléméen ne correspond pas à leur connaissance ? Est-ce qu'ils considèrent que sa démarche était correcte ou qu'il pouvait se tromper ?

Les résultats bruts indiquent que 43,3 % des élèves disent « *non, Ptolémée n'était pas dans l'erreur* », contre 56,7 % qui ont répondu « *oui, Ptolémée était dans l'erreur* ».

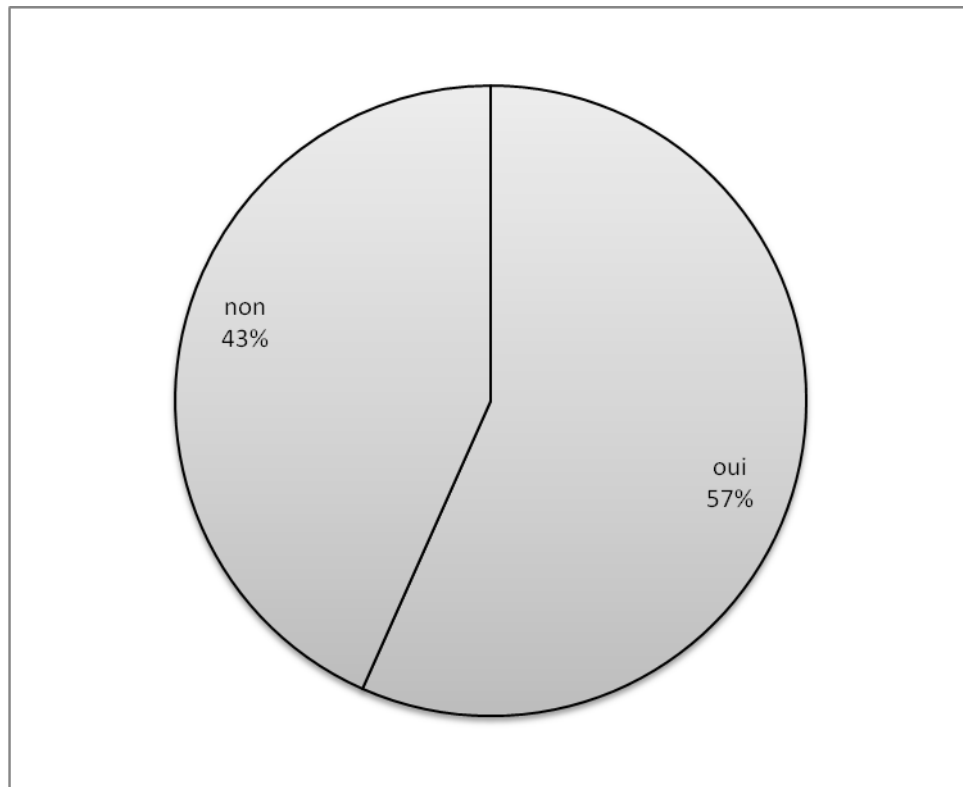


Figure 39 : cet exemple célèbre de l’astronomie vous montre que les sciences sont en perpétuelle évolution, cela signifie-t-il que Ptolémée (par exemple) était dans l’erreur ? Si oui peut-il être encore selon vous considéré comme un scientifique ?

Nous notons qu’une seule réponse du type : « *Oui, Ptolémée était dans l’erreur, mais non, il ne peut pas être scientifique* ». Il s’agit de Quentin, dont la justification semble très singulière : « *Il était dans l’erreur, car il a mis ses croyances religieuses en avant pour élaborer sa théorie. Non, car il n’a fait aucune observation. Il n’a fait sa théorie que par ses croyances* ». Quentin considère que Ptolémée était dans l’erreur, parce qu’il s’est appuyé sur des croyances pour élaborer sa théorie. Il en conclut qu’il faut faire des observations pour être scientifique.

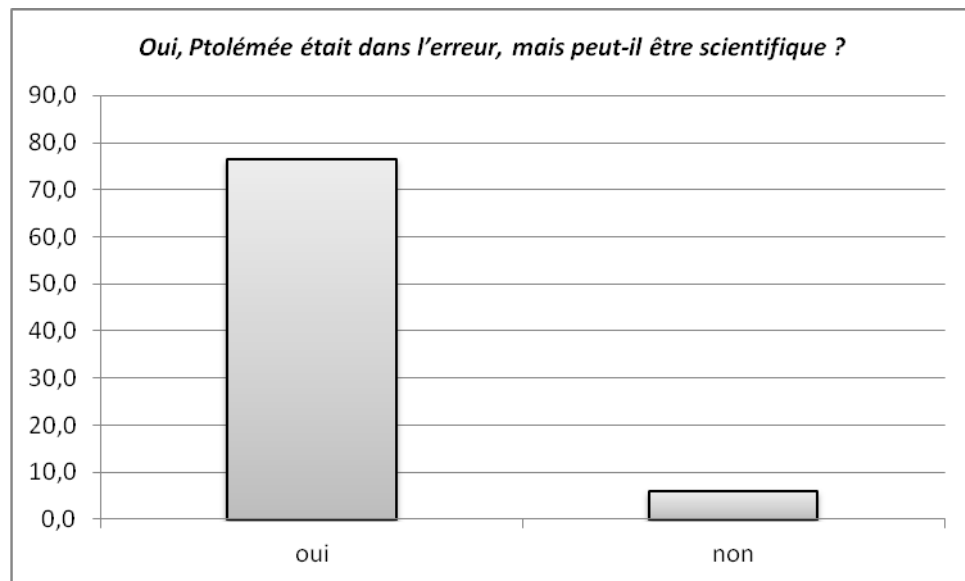


Figure 40 : Ptolémée était dans l'erreur, mais peut-il être scientifique ?

Ainsi, hormis la réponse susmentionnée, 77 % des élèves (13 sur 17), qui ont répondu que Ptolémée était dans l'erreur, ont considéré qu'il était scientifique. Seulement, 24 % de ces élèves (3 sur 17) n'ont pas répondu clairement à la deuxième partie de la question. Les arguments sont divers, allant des erreurs au contexte en passant par les apports et la démarche.

Bien entendu, en tant que scientifiques, nous pouvons nous tromper, comme l'écrit Richard : « *il s'est juste trompé* ». Il existe certainement des erreurs d'interprétation quant à l'objet, la réalité ou le monde sensible, comme l'écrit Clément : « *Il était dans l'erreur, car ce qu'il essayait d'expliquer n'était pas la réalité.* »

De manière brève et concise, Nacer rétorque « *car il a proposé des idées importantes* », ce qui se rapproche de la réponse de Mélissa : « *il a quand même fait beaucoup de recherche* ». Ces élèves se placent par rapport aux résultats et à l'impact du scientifique. Clément se distingue des autres élèves, parce qu'il envisage qu'« *Il est toujours considéré comme un scientifique, car il tentait d'expliquer un phénomène par une démarche scientifique* ». Ce n'est pas tant le fait que Ptolémée n'ait repris et développé une théorie géocentrique, ni même que son œuvre demeure importante, qui fait qu'il est scientifique. L'argument essentiel développé par Clément est celui de la démarche scientifique de Ptolémée.

La réponse qui est apportée par Mathieu à cette question est intéressante, puisqu'il a conscience que le scientifique travaille dans un contexte donné : « *Oui, car ce n'est pas comme il le disait que l'univers est, mais avec les moyens et connaissances de l'époque, il ne pouvait penser que ça.* ». Cet exemple illustre l'idée selon laquelle nous ne pouvons juger une personne que dans un contexte déterminé. Elle se retrouve relayée dans la réponse de Manon par une allusion à une époque donnée : « *Sa théorie était fautive a été refusé par plusieurs autres scientifiques. Mais il peut toujours être considéré comme un scientifique, car il a pu élaborer et chercher une théorie valable à cette époque* ».

Certains termes dans les réponses impliquent un jugement de valeur. Par exemple, Julien affirme qu'« *Il pensait qu'il avait raison* » et Emeric renforce l'idée que « *Ces résultats et ses démarches étaient corrects* ». Ces expressions montrent que les élèves considèrent que cette thèse, selon laquelle Ptolémée était dans l'erreur, est fautive et sans fondement. Ils peuvent affirmer que les scientifiques connaissaient certaines choses compte tenu du contexte de l'époque. Ces exemples montrent que cette question leur semble donc cohérente et qu'elle ne pose pas de problème particulier.

2.2.5.2 La nature des dimensions

Les deux premières dimensions évoquées sont « *temps* » et « *produits* ». Les trois suivantes sont respectivement : « *visées* », « *élaboration* » et « *ressources* ». Les moins présentes dans un ordre décroissant sont « *Communauté* », « *Société* » et « *attitude* ».

Les réponses sont centrées sur l'apport (« *produits* »), la démarche (« *élaboration* ») et les ressources. Le contexte est peu évoqué (« *société* ») et la dimension « *attitude* » est rarement mise en avant. En substance, les élèves raisonnent soit par rapport aux résultats actuels, soit par rapport à l'élaboration.

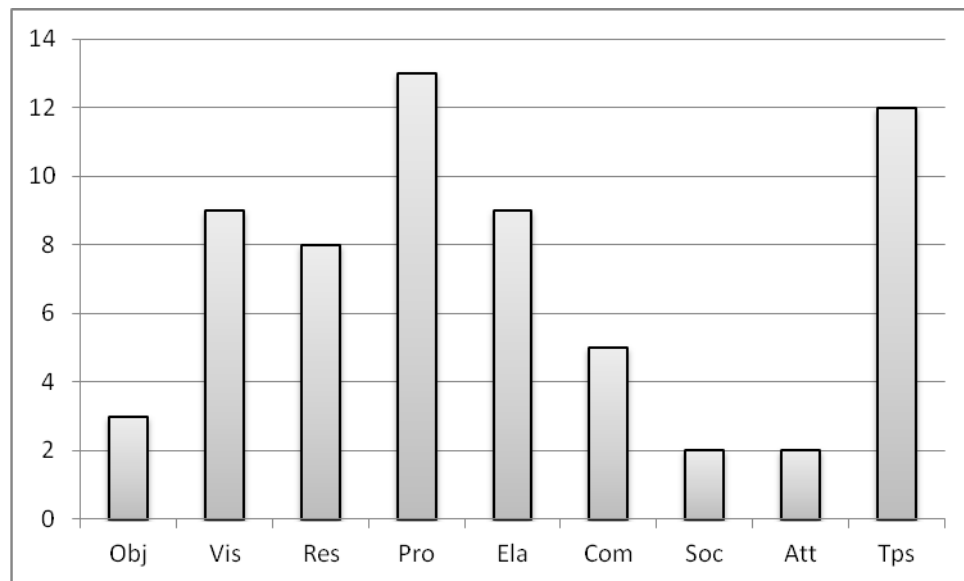


Figure 41 : cet exemple célèbre de l'astronomie vous montre que les sciences sont en perpétuelle évolution, cela signifie-t-il que Ptolémée (par exemple) était dans l'erreur ? Si oui peut-il être encore selon vous considéré comme un scientifique ?

Les ressources étaient incomplètes pour Julien qui précise qu'« *il ne possédait pas toute les données* », ou Fanny : « *il n'avait aucun élément* ». Dans l'ensemble, nous ne connaissons pas tout, comme ajoute Mathieu : « *avec les moyens et connaissances de l'époque* » que nous rapprochons de l'autre élève prénommé Matthieu « *Non, Ptolémée était cohérent avec les idées scientifiques de l'époque* ». Ce raisonnement met l'accent sur ce qui est « *normal* » compte tenu de l'état de nos connaissances. En plus, ces deux élèves proposent le même argument, mais dans un cas il le regarde positivement et dans l'autre négativement. Matthieu répond formellement que Ptolémée n'était pas dans l'erreur. Tandis que Mathieu affirme au contraire qu'il était dans l'erreur, mais il propose une argumentation qui nuance sa réponse. Son argument fait référence à l'objet que nous connaissons actuellement et donc son explication se situe entre « *oui* » et « *non* ».

Il semble alors intéressant, à la fin de l'analyse, de comparer ceux qui répondent « *Non, Ptolémée n'était pas dans l'erreur* », et « *Oui, Ptolémée était dans l'erreur et oui il peut être scientifique* ». Des arguments se retrouvent dans ceux qui disent « *non* » et dans ceux qui disent « *oui + oui* » comme Matthieu « *Non, Ptolémée était cohérent avec les idées scientifiques de l'époque* », ce qui paraît très proche de celle de Mathieu « *Oui, car ce n'est pas comme il le disait que l'univers est, mais avec les moyens et connaissances de l'époque, il ne pouvait penser que ça* ».

Plusieurs élèves expriment nettement la dimension temporelle dans leur justification et leur raisonnement relève essentiellement de deux ordres :

- par rapport aux résultats connus actuellement (ce décalage par rapport à ce que nous connaissons maintenant)
- en mettant l'accent sur l'apport (un aspect positif mis en avant)

Ainsi, Julien juge par rapport aux savoirs actuels qui ont évolué : « *Il n'est pas forcément dans l'erreur même s'il a été démontré qu'il avait tort.* » Par ailleurs, quelques réponses renvoient au rapport à la réalité. Par exemple, Nacer répond que « *La Terre n'est pas et n'était pas au centre de l'Univers* ». Mathieu souligne que « *ce n'est pas comme il le disait que l'univers est* ». Il suggère ainsi qu'il n'existe qu'une seule description possible de l'univers. Ces réponses renvoient souvent à l'idée d'une réalité indépendante de l'observateur et aux connaissances actuelles, c'est pourquoi ils étaient dans l'erreur.

Les raisonnements sur l'évolution sont en lien avec la dimension historique et temporelle. Par exemple, Nacer répond que « *Oui, car il a proposé des idées importantes* ». Cette réponse met en avant l'apport de connaissances (aux sciences et à la recherche scientifique) au sein d'une communauté. Mélissa ajoute qu'« *il a quand même fait beaucoup de recherche pour se faire l'idée de la théorie du géocentrisme* » et Lucile ajoute « *Il était dans l'erreur, mais son raisonnement a aussi permis aux sciences d'évoluer* ».

2.2.6 Cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ?

Cette question illustre le problème de l'observation qui n'est pas neutre. Comment la caractériser ? D'un point de vue des neurosciences, l'observation est la réponse du cerveau à un stimulus. Le travail d'intégration du cerveau n'est pas nécessairement le même pour tout le monde. Le cadre théorique, dans lequel travaillent les scientifiques, peut être aussi différent. Les recherches en didactique ont mis en évidence que pour beaucoup d'élèves l'observation consiste simplement à constater

les phénomènes. Les élèves pourraient partager cette interprétation naïve. Alors que, finalement, cet exemple historique montre particulièrement bien comment la théorie détermine l'observation.

2.2.6.1 La place de l'observation dans la démarche

L'analyse de cette question indique distinctement que la grande majorité des élèves (83 %) a reconsidéré la place de l'observation après avoir suivi cette séquence. Blandine, par exemple, pensait que l'observation était à la base de l'élaboration du savoir scientifique : « *C'est une idée reçue que de croire que l'élaboration du savoir scientifique se base sur l'observation dont je ne passe pas outre. Cela permet à reconsidérer toutes mes certitudes* ».

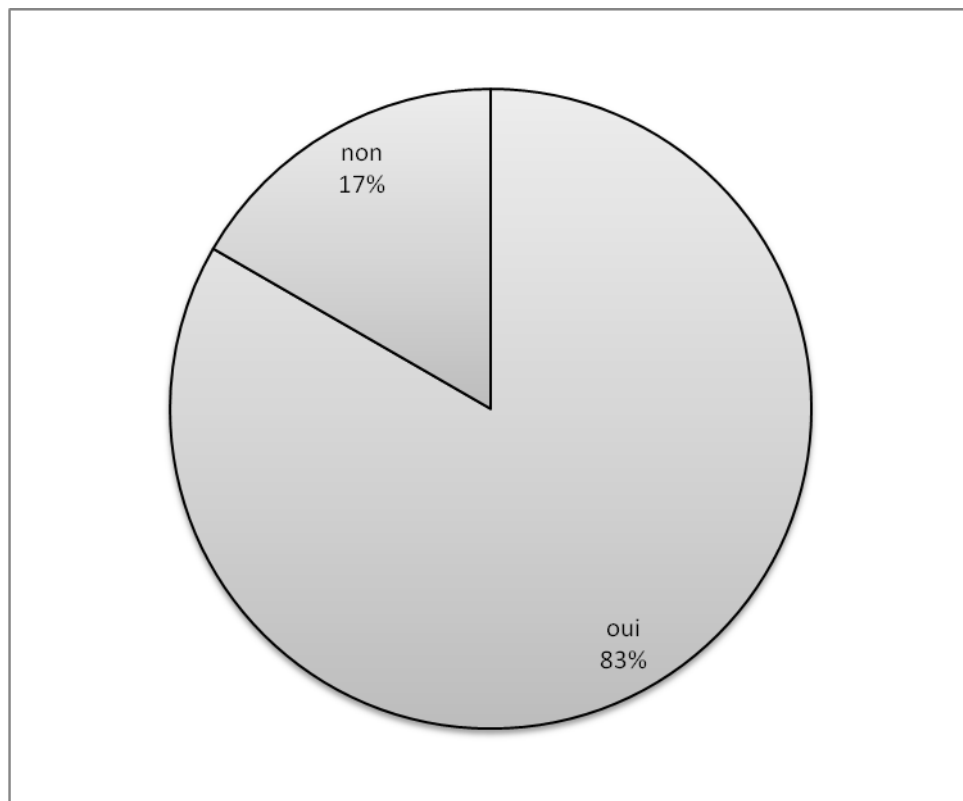


Figure 42 : cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ?

Cependant, les élèves qui répondent « *oui* » ne donnent pas la même place à l'observation dans la démarche scientifique et quelques réponses sont plus nuancées que d'autres. Ainsi, nous discernons deux aspects :

- les activités et l'ordre dans lequel elles ont lieu (l'observation, la théorie ou d'autres activités comme le disent certains élèves) ;
- l'idée d'interprétation ou de distance avec la réalité.

Certains élèves identifient l'ancrage théorique de l'observation, d'autres considèrent que l'observation sert à trancher entre des théories, d'autres encore donnent priorité à l'observation. Les réponses reçues sont donc classées selon les quatre catégories du questionnaire précédent : n'en parle pas ; l'observation est première ; l'observation valide la théorie ; l'observation et la théorie (ou d'autres activités) et la théorie seule.

Place de l'observation dans démarche	code	Pourcentage (N=30)
N'en parle pas	Obs.0	37 % (81 % : point de vue sur l'observation a évolué)
L'observation est première	Obs.1	17 %
L'observation valide la théorie	Obs.2	30 %
L'observation et la théorie (ou d'autres activités)	Obs.3	13 %
La théorie seule	Obs.4	3 %

Tableau 42 : codage « *Observation/théorie* »

Plus d'un tiers des élèves (37 %) n'avancent pas d'argument (code Obs.0), mais simultanément, la quasi totalité de ces élèves (30 %) affirme que leur point de vue a évolué, puisqu'ils ont coché la case « *oui* ». Seuls cinq élèves (17 %) envisagent une place importante de l'observation (code Obs.1) dans l'élaboration du savoir scientifique. Ils partagent sensiblement la même idée avec des réponses plus ou moins riches, comme le résumant les fragments de phrases suivantes : « *Il est important d'observer* » (Julien) et « *Il faut observer* » (Emeric). L'observation est généralement la première étape de la démarche scientifique, car il faut d'abord obtenir des données, comme l'écrit Gersende : « *Pour moi, il est quand même nécessaire d'observer, l'interprétation des données est ensuite personnelle, mais on ne peut avoir de données sans observation* ». Il semble intéressant de noter qu'elle parle non pas de théorie, mais bien de données. En ce sens, il demeure une part de subjectivité irréductible au cœur même de leur interprétation.

Dans un autre esprit, quatre élèves (13 %) considèrent que l'observation et la théorie sont perçues de façon à la fois complémentaires et parallèles (code Obs.3). Ce que

nous retrouvons chez Benjamin : « *L'observation permet de faire évoluer les théories* ».

Représentant quasiment un tiers des réponses (30 %), l'observation valide la théorie (code Obs.2). Quentin, par exemple, propose de renforcer la confrontation à la réalité : « *Il faut toujours faire des observations pour pouvoir prouver une théorie* ». Par ailleurs, Clément hiérarchise le lien entre théorie et observation : « *On a toujours prétendu que c'était l'observation qui arrivait à la théorie (comme l'exemple de Newton et de la pomme) alors que c'est totalement faux* ». Manon affirme que : « *L'observation n'est pas la chose primordiale dans l'élaboration du savoir scientifique. Un scientifique n'observe pas avant d'élaborer sa théorie, car l'observation peut être différente pour chacun d'entre nous* ». Elle rapproche l'observation et la théorie, mais elle attribue un rôle déterminant à la théorie. Sa réponse présente en plus cette activité selon un ordre chronologique : elle ne commence pas par l'observation, car cette dernière dépend de la personne. Son argumentation met en avant le caractère subjectif de l'observation, par conséquent l'observation ne décrit pas la réalité. Nous pourrions alors nous poser la question de savoir que répondrait Manon si un scientifique observait avec un instrument. Observer à l'œil nu et observer grâce à un instrument ne semble pas exactement identique. En effet, Vasco Ronchi⁴⁷ (1956) rapporte qu'à partir de Kepler, les scientifiques observaient les images réelles sur un écran. C'était donc une manière d'objectiver leur travail. Ces élèves établissent parfois des liens entre la théorie et l'observation, comme Matthieu qui écrit qu'« *en réalité, l'observation se base déjà à partir d'une théorie* ». Néanmoins, Matthieu évoque aussi l'ancrage théorique de l'observation en affirmant implicitement qu'une observation n'est pas neutre.

2.2.6.2 Un lien avec la vérité et la réalité

Pour 23 % des élèves, les réponses ne mentionnent pas seulement la place de l'observation dans la démarche. Nous remarquons aussi souvent un jugement de valeur que nous pouvons aussi prendre en compte. D'un côté, les élèves qui valorisent l'observation en renvoient une image pertinente et positive. De l'autre, certains élèves soulignent qu'il ne faut pas trop se fier à l'observation. Mary explique ainsi que

⁴⁷ Ronchi V., Une Histoire de la lumière, trad. Taton J. Colin, Paris, 1956.

« *L'observation ne nous permet pas d'expliquer un phénomène, elle peut nous tromper* » et Lucile rappelle qu'« *on ne peut pas s'y fier* ». Marine place la théorie en premier dans la démarche générale et souligne que l'observation conduit à des erreurs : « *C'est en observant que Ptolémée s'est trompé dans sa théorie* ». Ces réponses traduisent une perception positive ou négative de l'observation et elles évoquent quelquefois la notion de vérité et d'erreur, ce que les réponses du premier questionnaire ne faisaient pas apparaître. D'ailleurs, un écart semble possible entre la perception et le résultat. Fanny insiste sur « *Ce que l'on voit ne reflète pas forcément la réalité* » et Rudy relève qu'« *on n'observe pas le phénomène en lui-même, mais des résultats* ». Cette question Q.2.5 renforce la prise de conscience des approches et la réflexion qui sous-tendent l'activité scientifique. Elle renvoie à la représentation de leur conception, tandis que la question précédente (« *est-ce que d'après vous un bon physicien est quelqu'un qui observe d'abord ?* ») portait sur la nature des sciences.

Interprétation	code	Pourcentage (N=30)
Pas de réponse	0	50 %
Observation négative	—	10 %
Observation positive	+	13 %
Distance entre observation et réalité ou entre théorie et réalité	d	27 %

Tableau 43 : rapport observation, réalité et théorie

2.2.6.3 La nature des dimensions

Parmi les réponses, une dimension se distingue des autres. Il s'agit de l'« *élaboration en sciences* », ce qui est cohérent avec la place de l'observation dans la démarche. Les autres aspects liés à l'observation sont peu présents.

Plusieurs dimensions sont quasiment équivalentes et minoritaires : « *Visées et caractéristiques* » (notion de vérité, par rapport à la réalité), « *produit* », « *attitudes* » et « *communauté* » (un ou plusieurs scientifiques).

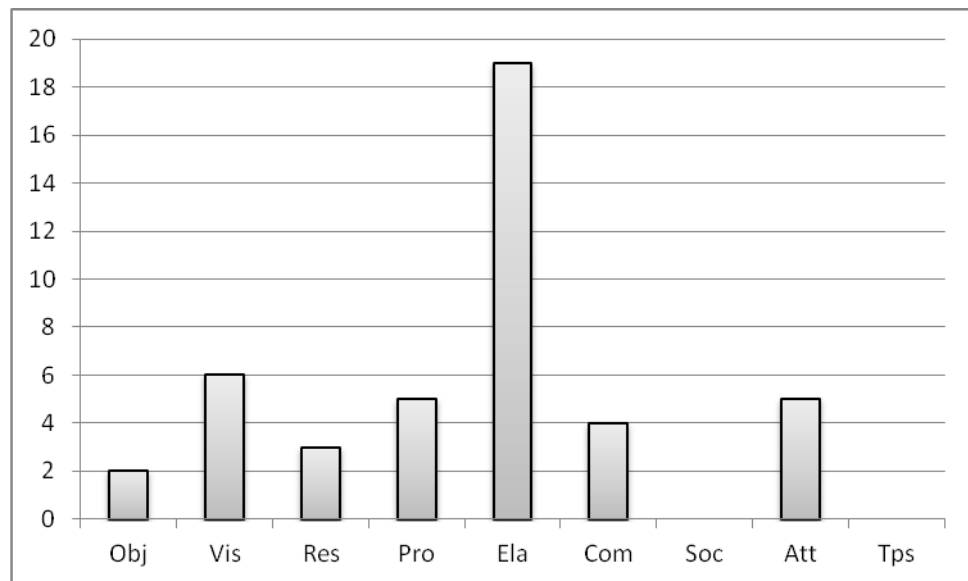


Figure 43 : cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ?

La réponse de Pierre-Louis résume bien la situation : « *C'est l'observation de plus en plus précise, assortie d'une bonne réflexion qui mène à la théorie la plus exacte (jusqu'à ce qu'une autre la remplace)* ». Il évoque une histoire et une évolution des théories, mais aussi d'atteindre une vérité inaccessible comme un horizon. La théorie donne toujours un écart et sa réponse donne ainsi une priorité à l'observation. Il illustre également l'idée d'une forme d'induction avec une observation plus précise et plus pertinente des phénomènes. Finalement, nous retrouvons dans cet exemple plusieurs éléments des diverses dimensions : « *temps* » (la remplace), « *ressources* » (observation), « *produits* » (théorie). Il précise des règles dans l'« *Élaboration en sciences* », car l'observation doit être précise et la théorie doit rendre compte de la manière la plus exacte possible de l'observation.

Emeric justifie sa réponse par rapport à la façon d'observer : « *Il faut observer toutes les caractéristiques pour être sûr de ne rien louper* ». Sa réponse rappelle un résultat d'enquête sur le modèle de Coince *et al.* (2008)⁴⁸. Le mot « *toute* » semble intéressant ici, parce qu'il se rapporte à la dimension « *Élaboration en sciences* » (*activités, pratique, règles*) qui ne doit pas se faire n'importe comment : il faut tout regarder. L'exhaustivité est considérée comme une valeur. Emeric en donne la raison, car il faut « *être sûr de ne rien*

⁴⁸ Didier Coince, Anne-Marie Miguët, Stéphane Perrey, Tristan Rondepierre, Andrée Tiberghien, et al.. Une introduction à la nature et au fonctionnement de la physique pour des élèves de seconde. Bulletin de l'Union des Physiciens, 2008, 102 (900), pp. 3-20.

louper ». D'un autre côté, il ne poursuit pas jusqu'au bout son raisonnement qui consisterait à dire qu'un scientifique n'atteint pas la réalité. Pour cet élève, le modèle est la réalité et il doit tout prendre en compte. Cette réponse pose le problème de la simplification de la réalité qui se situe aussi dans la dimension « *Visées et caractéristiques* ».

Tandis que Julien précise la place de l'observation dans la démarche en ajoutant « *pour éviter de se tromper ou d'être remis en question* ». Sachant que cette remise en question est induite par quelqu'un d'autre, cette réponse se classe dans la dimension « *communauté* » puisqu'il prend en compte les autres scientifiques. Cependant, la première partie de cette phrase (se tromper) s'inscrit bien dans la dimension « *Visées et caractéristiques* » (caractéristiques générales, rapport à la réalité).

En définitive, nous pouvons nous tromper à cause de paramètres oubliés (Emeric) ou bien par manque de précision des données (Pierre Louis), mais dans les deux cas, il s'agit bien du rapport à la réalité. Nous retrouvons aussi cette idée chez Richard, avec un argument supplémentaire : « *C'est l'observation qui permet bien souvent de distinguer la vérité scientifique, lors de confrontation de deux lois différentes ou un même sujet* ». Il commence par justifier de la même manière (observation pratique) avec les dimensions « *Élaboration en sciences* » et « *Visées et caractéristiques* ». La visée est et demeure de distinguer la vérité ce qui rejoint bien l'idée de Julien. Richard va un petit peu plus loin dans sa justification, car il évoque une activité théorique (confronter deux lois). L'observation ne consiste pas simplement à regarder, il montre qu'elle reste un élément de preuve.

Des arguments portent sur l'observation dans la démarche : « *il est important d'observer* » (Julien). L'observation fait partie de la démarche. Richard et Julien sont tous les deux dans les « *Visées et caractéristiques* », car ils évoquent aussi bien la vérité ou l'erreur. Mary établit un lien entre une observation et un phénomène. Emeric se positionne sur la façon d'observer : « *Il faut observer toutes les caractéristiques* », ce sont donc les règles d'élaboration. Il ajoute ensuite : « *pour être sûr de ne rien louper* », ce que nous interprétons en tant que problème de simplification de la réalité. Si c'était le cas, le modèle serait la réalité. Finalement, nous pouvons être dans l'erreur, mais ce n'est pas l'observation par rapport à la réalité. Les élèves ne relèvent pas toujours le même type d'erreur.

Benjamin se place dans le rapport observation/théorie : « *L'observation permet de faire évoluer les théories* ». L'observation correspond à la dimension « *produit* » comme pour Matthieu qui affirme qu'« *en réalité, l'observation se base déjà à partir d'une théorie* ». La théorie se rapporte à la dimension « *ressources* » en tant que résultat de l'activité scientifique.

Jérémy rappelle qu'« *ils ont été plusieurs grands scientifiques à observer la même chose, et pourtant il y a beaucoup de visions différentes pour l'expliquer* ». Il utilise les dimensions « *communauté* » (plusieurs grands scientifiques) et l'« *objet* » (la même chose). Le point fort de cette réponse est de mettre l'accent sur la diversité d'une communauté et la dimension collective de l'élaboration des sciences.

2.3 Étude des résultats de chaque élève

2.3.1 Les dimensions évoquées et la richesse des réponses obtenues

Au total, nous avons déterminé que 282 unités d'analyse ressortaient des réponses au questionnaire après enseignement, soit 9,4 unités d'analyse par dimension en moyenne par élèves, avec un écart-type de 3,1. Les valeurs maximale et minimale sont respectivement de 17 et 1. Bien que l'effectif d'élèves soit faible, les réponses mobilisent plus de dimensions après enseignement qu'avant. Le profil de la classe sur l'ensemble du second questionnaire fait ressortir une hétérogénéité des élèves :

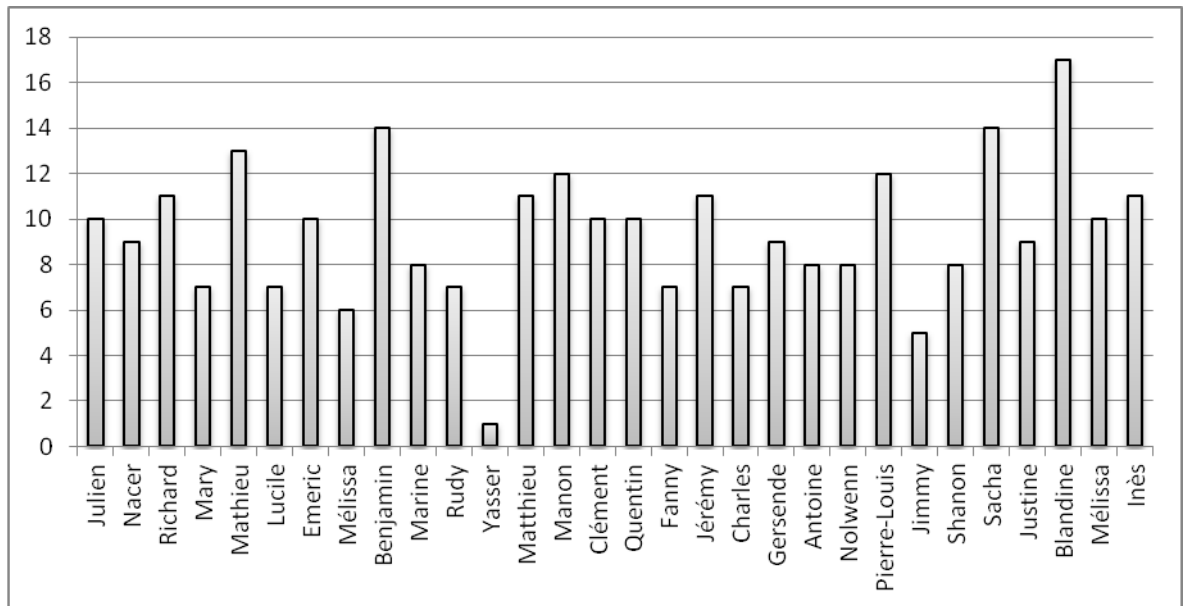


Figure 44 : la distribution de fréquences des dimensions du 2d questionnaire

2.3.2 Positionnement sur les trois points

En ce qui concerne le positionnement de chaque élève, notre étude soulève deux questions :

- Quels sont les profils des élèves après enseignement ? Existe-t-il un profil plus fréquent ?
- Quelle évolution des profils après enseignement ?

Nous présentons, dans le tableau ci-dessous, le positionnement de chaque élève selon trois points : subjectivité, sciences et croyances et observation/théorie/activité. Ils se rapportent aux questions suivantes :

- Q2.2. « *Comment expliquez-vous que Ptolémée et Copernic défendent des positions différentes ?* »
- Q2.3. « *Une lecture attentive des textes vous montre que la plupart de ces grands scientifiques étaient croyants, pensez-vous que cela ait pu avoir une grande influence sur leur travail en tant que scientifique ?* »
- Q2.5. « *Cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ?* »

Élève	Subjectivité ⁴⁹	Sciences et croyances	Obs/théorie/acti
Julien	dem	Cr.3	Obs.0
Nacer	ctxt	Cr.3	Obs.3
Richard	dem	Cr.4	Obs.2
Mary	np	Cr.2	Obs.0
Mathieu	rel	Cr.2	Obs.0
Lucile	pré	Cr.4	Obs.0
Emeric	rel	Cr.2	Obs.1
Mélissa	dem	Cr.4	Obs.3
Benjamin	dem + ctxt	Cr.4	Obs.3
Marine	dem	Cr.3	Obs.0
Rudy	ctxt	Cr.4	Obs.0
Yasser	dem	Cr.0	Obs.0
Matthieu	pré + dem	Cr.4	Obs.2
Manon	rel	Cr.3	Obs.2
Clément	rel	Cr.4	Obs.2
Quentin	dem + rel	Cr.4	Obs.2
Fanny	pré	Cr.3	Obs.0
Jérémy	dem + ctxt	Cr.3	Obs.0
Charles	dem + rel	Cr.3	Obs.1
Gersende	pré	Cr.3	Obs.1
Antoine	pré	Cr.3	Obs.0
Nolwenn	dem	Cr.3	Obs.1
Pierre-Louis	ctxt	Cr.4	Obs.1
Jimmy	pré	Cr.3	Obs.4
Shanon	pré	Cr.4	Obs.0
Sacha	dem + pré + ctxt	Cr.3	Obs.3
Justine	pré	Cr.3	Obs.2
Blandine	pré + ctxt	Cr.3	Obs.2
Mélissa	np	Cr.4	Obs.2
Inès	dem	Cr.3	Obs.2

Tableau 44 : positionnement de chaque élève après la séquence

A partir de ce tableau, nous réalisons un croisement des réponses entre sciences et croyances et la place de l'observation. Ce nouveau tableau nous indique une répartition différente des réponses après la séquence. Près d'un quart des élèves (24 %) sépare sciences et croyance (code Cr.4) sans donner la priorité et la primauté à l'observation (code Obs.1), même si ce rapport reste encore confus (code Cr.3) pour une autre partie de la classe (23 %).

⁴⁹ Les abréviations utilisées renvoient au codage suivant : « ctxt » : contexte sociétal (historique, culturel) ; « rel » : croyance ou religion ; « dem » : démarche (ou élaboration) et « pré » : présupposés ou cadre conceptuel (observation inscrite)

Sciences et croyances Observation	Cr.0	Cr.2	Cr.3	Cr.4
Obs.0	3 %	7 %	17 %	10 %
Obs.1		3 %	10 %	3 %
Obs.2			13 %	17 %
Obs.3			7 %	7 %
Obs.4			3 %	

Tableau 45 : tableau croisé des réponses du deuxième questionnaire sur observation, sciences et croyances (N=30)

2.4 Bilan et mise en perspective avec les documents pendant la séance

Cette séquence semble avoir permis aux élèves de se positionner davantage sur la nature des sciences. Sur le plan de l'interprétation des documents, la grande majorité des élèves a réussi à identifier au moins un élément et un argument pour chaque scientifique étudié. Les arguments mis en avant par les élèves étaient multiples : observations, calculs théoriques, progrès technique et présupposés. Certains aspects des textes comme les valeurs et les critères de choix restent néanmoins plus difficiles à saisir. Concernant le deuxième questionnaire, l'analyse des réponses confirme une évolution significative des élèves. Le nombre de dimensions sur le lien entre observation et théorie a augmenté sensiblement et plusieurs sont mises en avant, comme la « communauté », l'« attitude » et la « société ».

Sur le plan de l'ancrage théorique de l'observation (et plus généralement la subjectivité), la grande majorité des élèves (70 %) donnent des arguments en lien avec au moins un de nos deux objectifs : la démarche ou les présupposés. Les réponses font ressortir des justifications pouvant aller jusqu'à trois arguments de différente nature : contexte sociétal (historique, culturel) ; croyance ou religion ; démarche (ou élaboration) et présupposés ou cadre conceptuel (observation inscrite).

En outre, plus des trois quarts des élèves (83 %) affirment que l'idée qu'ils avaient de la place de l'observation dans la démarche scientifique a évolué. Il convient de noter qu'un peu plus d'un tiers des élèves (37 %) n'avancent pas d'argument de nature à préciser son rôle, mais la quasi-totalité de ces élèves (30 %) confirment avoir changé de point de vue sur la question.

Les résultats obtenus indiquent toutefois une confusion entre les sciences et les croyances dans la moitié des réponses (50 %). Certains de ces élèves peuvent confondre le résultat du scientifique avec ses croyances, tandis que d'autres semblent faire un lien entre sa démarche et sa foi. Ces résultats témoignent de la difficulté des élèves à faire la part entre les interprétations irrationnelles et les résultats rationnels. Les questions de notre étude ne permettent pas d'aller plus loin dans l'analyse, notamment en fonction de l'influence sur la pratique ou les résultats de l'activité scientifique. Il serait nécessaire de poursuivre les recherches pour clarifier leur conception sur ce rapport.

3. AVANT/APRES : COMPARAISON DES RESULTATS DE LA CLASSE

Pour comprendre l'impact de la séquence, nous comparons les questions avant et après l'étude historique. Bien que les questions ne soient pas exactement sur le même plan, il semble possible de rapprocher certaines questions qui portent sur le même point de la *NoS*. Cette analyse permet aussi de confronter certains résultats obtenus avec ceux déjà connus.

3.1 L'analyse avant/après en termes de richesse

Les différences des deux distributions de fréquences montrent que les élèves évoluent différemment avant la séquence et après celle-ci :

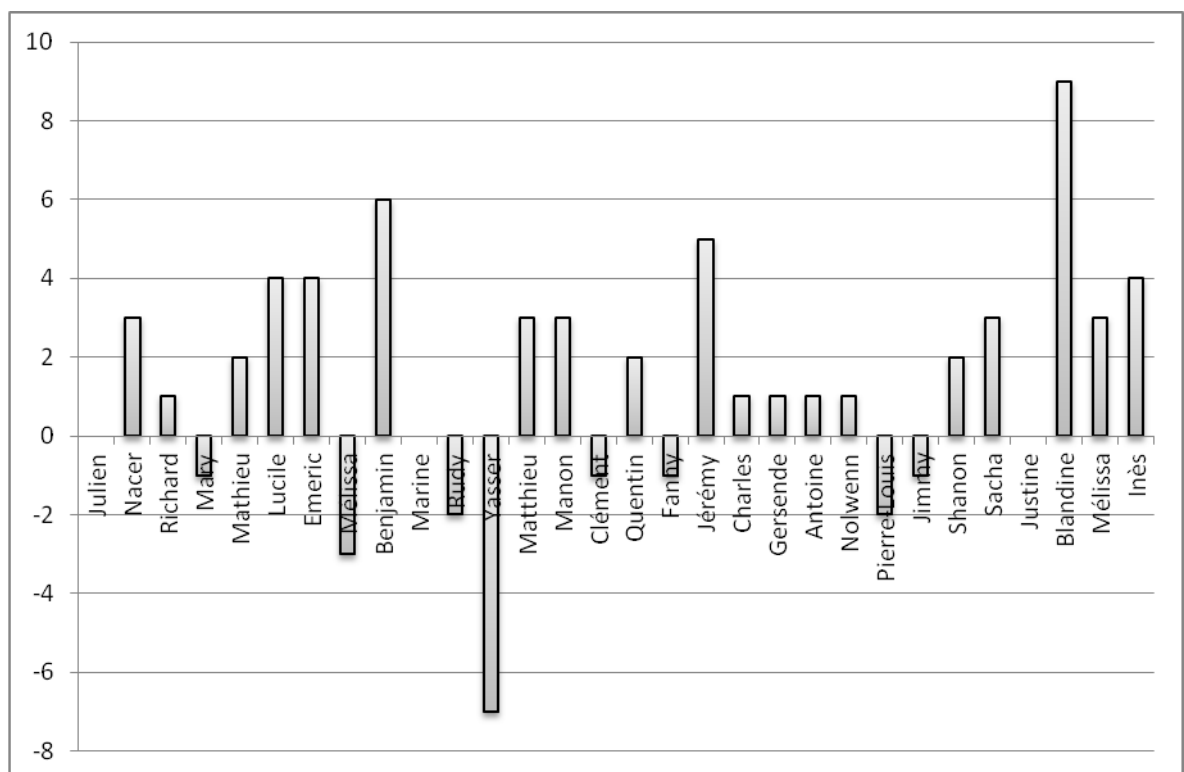


Figure 45 : différences des deux distributions de fréquences avant et après

La différence du nombre de dimensions avant et après par élève permet de suivre l'évolution de chaque élève. Certains élèves ont beaucoup progressé, comme Blandine, Benjamin et Jérémy. Toutefois, certains n'ont enregistré que peu de

progrès, comme Antoine, voire aucun progrès significatif comme Marine, et Yasser a même régressé. Ce dernier ne voulait sans doute plus répondre. L'écart-type augmente un peu également (+1,1), ce qui témoigne d'une modification du schéma d'occurrence des dimensions. Dans son ensemble, la classe semble plus hétérogène et les élèves envisagent ce deuxième questionnaire de façon différente.

Le profil de la classe ci-dessous, montre que les dimensions présentes sont cohérentes avec les objectifs de la séquence :

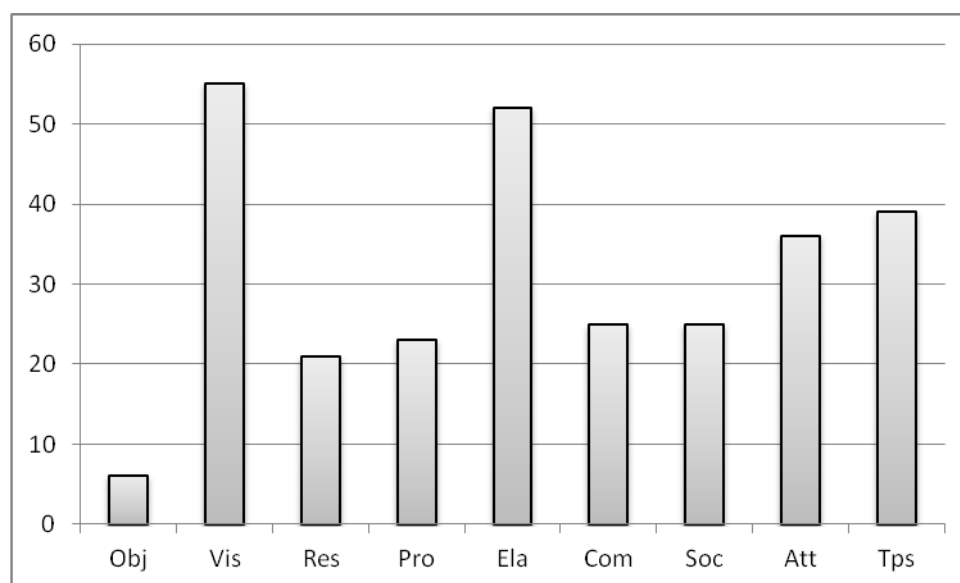


Figure 46 : profil de la classe sur l'ensemble du questionnaire après la séquence

La dimension des « *Visées et caractéristiques* » est directement en lien avec les présupposés et l'« *Élaboration en sciences* » se rapporte aux démarches. Ce profil constitue un premier bilan partiel, car il montre que les dimensions « *communauté* », « *société* » et « *attitudes* » apparaissent plus clairement qu'avant, tandis que la dimension « *objet* » a presque disparu.

Nous pouvons aussi établir un profil de la classe limité à la question Q2.1 (« *Qu'est ce que cette séance vous a appris d'important sur l'élaboration des savoirs scientifiques ? Expliquez* ») pour identifier les dimensions importantes spontanément évoquées par les élèves après la séance :

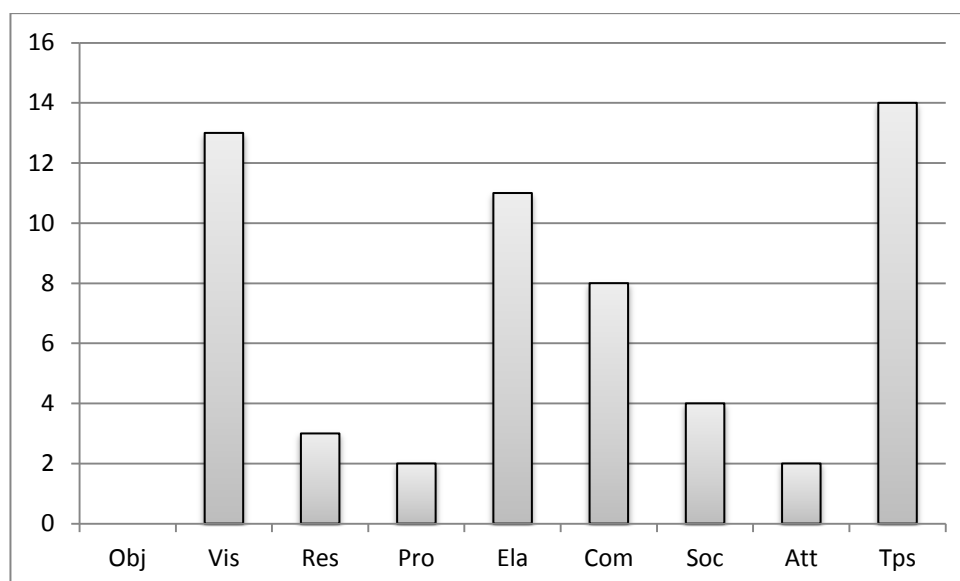


Figure 47 : profil de la classe sur la question « *qu'est ce que cette séance vous a appris d'important sur l'élaboration des savoirs scientifiques ?* »

Le nombre de dimensions demeure important et les dimensions attendues, par rapport aux objectifs, sont présentes. En comparaison avec le profil général de classe dégagé avant enseignement, les dimensions « *Visées et caractéristiques* », « *communautés* » et « *sociétés* » apparaissent de manière plus évidente. La dimension « *attitudes* » semble pourtant moins présente, car la séquence n'a pas travaillé spécifiquement cet aspect. De surcroît, la différence entre les dimensions semble particulièrement intéressante puisque l'écart se réduit entre les dimensions « *Élaboration en sciences* » et « *communauté* ». La dimension « *société* » paraît plus présente et la dimension des « *Visées et caractéristiques* » devient même plus importante que la dimension « *Élaboration en sciences* ».

3.2 Trois questions à examiner pour comparer les résultats

Les résultats présentés dans les chapitres précédents se prêtent à une comparaison sur trois points particuliers :

- La question de l'observation ;
- La question de la subjectivité et de l'ancrage théorique de l'observation ;
- La question de la séparation des registres scientifiques et religieux.

Une des difficultés de cette comparaison est que les questions du premier questionnaire sont très ciblées, tandis que les questions du deuxième questionnaire

sont plus ouvertes. Il semble délicat de faire des comparaisons point par point. Le deuxième questionnaire est donc présenté ici pour avoir la perception des élèves des objectifs de la séquence. Les questions « *précises* » que nous avons choisies de poser dans le deuxième questionnaire portent donc sur des points que nous considérons comme les plus importants. Les contraintes de temps nous ont amenés à faire des choix sur les points à aborder, ce qui peut expliquer le décalage entre les questions. Les choix ont été réalisés sur la base de l'analyse épistémologique et de la littérature (objectifs-obstacles), tout en restant volontairement sur des questions simples. Cette mise en correspondance est présentée succinctement dans le tableau ci-après. De cette analyse, que nous apprennent les comparaisons ?

Questions avant	Questions après	point de la NoS
<i>Q1.2.1 Est-ce que d'après vous un bon physicien est quelqu'un qui observe d'abord ?</i>	<i>Q2.5 Cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ?</i>	Rapport théorie et observation : démarche
<i>Q1.2.2 Deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ?</i>	<i>Q2.2 Comment expliquez-vous que Ptolémée et Copernic défendent des positions différentes ?</i>	Rapport théorie et observation : ancrage théorique/Présumés
<i>Q1.5 Peut-on être scientifique et croyant ?</i>	<i>Q2.3 Une lecture attentive des textes vous montre que la plupart de ces grands scientifiques étaient croyants, pensez-vous que cela ait pu avoir une grande influence sur leur travail en tant que scientifique ?</i>	Scientifique et croyant

Tableau 46 : tableau de correspondance entre les questions posées

3.3 Comparaison des réponses fournies par la classe avant et après la séquence

3.3.1 La place de l'observation dans la démarche

Deux points nous préoccupent particulièrement sur le rôle de l'observation : sa place dans la démarche scientifique et son ancrage théorique. Les deux questions Q1.2.1 « *Est-ce que d'après vous un bon physicien est quelqu'un qui observe d'abord ?* » et Q2.5 « *Cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ?* » sont en lien explicite avec l'observation.

3.3.1.1 Positionnement

La comparaison des activités et de la démarche montre une évolution. Alors que plus de deux tiers des élèves (70 %) considéraient que l'observation était plus importante, au sens d'observation première, ce nombre a considérablement diminué pour arriver à seulement 17 % d'élèves. Par ailleurs, la majorité des élèves qui ne répondent pas sur la place de l'observation dans la démarche disent que leur point de vue a évolué. Dans les nouveaux arguments avancés par les élèves, plusieurs se rapportent à des notions comme la réalité et la vérité, ce qui n'était pas le cas avant la séquence didactique.

Place de l'observation dans démarche	code	Avant	Après
N'en parle pas	Obs.0	3 %	37 % (81 % : point de vue sur l'observation a évolué)
L'observation est première	Obs.1	70 %	17 %
L'observation valide la théorie	Obs.2	10 %	30 %
L'observation et la théorie	Obs.3	17 %	13 %
La théorie seule	Obs.4	0 %	3 %

Tableau 47 : comparaison avant/après sur la place de l'observation dans la démarche

3.3.1.2 Dimensions de la NoS

La répartition des dimensions a sensiblement évolué au profit des « *ressources* » (+4), et au détriment des « *objets* » (-9). Les réponses sont plus riches dans la mesure où les deux dimensions majoritaires ont diminué, les dimensions minoritaires sont stables ou ont augmenté et qu'une autre apparaît, comme l'indique l'histogramme ci-dessous :

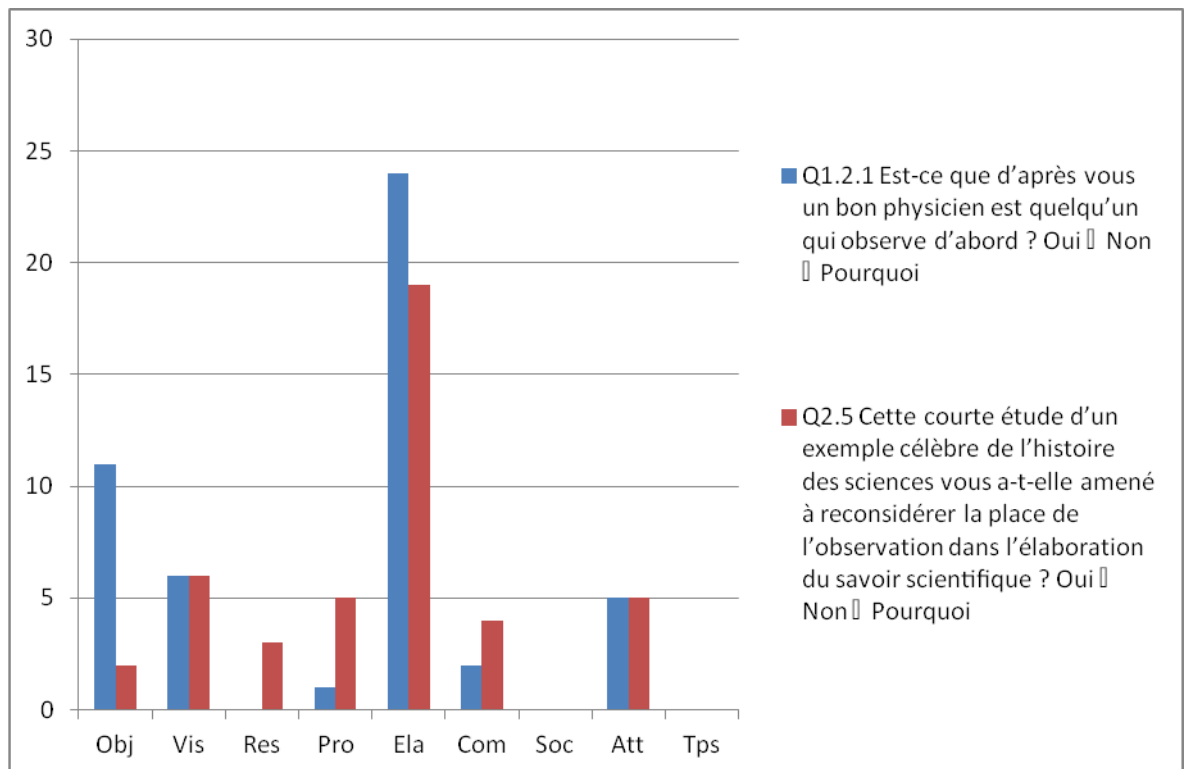


Figure 48 : la place de l'observation dans la démarche

Une analyse plus fine de la dimension « *Élaboration en sciences* » permet de considérer qu'un reclassement de certains éléments de réponses semble nécessaire. En effet, dans la catégorie « *Démarches* » de cette dimension, nous distinguons deux sous-catégories : « *type de démarche* » et « *type d'activité* ». Une activité correspond, par exemple, à observer, mesurer ou calculer. Elle correspond à une action. Tandis que la démarche (unique, ou pas) reste une succession d'activité (inductive, hypothético-déductive, etc.) avec une structure temporelle. Cette manière de raisonner paraît en quelque sorte moins stricte qu'une méthode. Or la majorité des réponses des élèves (21) à la question Q1.2.1 relèvent de la démarche, comme Julien, qui écrit « *Un physicien qui observe d'abord verra peut être plus au premier abord qu'un physicien qui expérimente directement.* ». Nous retrouvons un ordre dans les

activités. Néanmoins pour la moitié d'entre eux (10), cette démarche devient unique et très prescriptive (« *il faut* », « *il doit* » ou « *on est obligé* »), comme une méthode avec une règle définie.

De la même manière pour la question Q2.5, nous remarquons qu'un premier groupe d'élèves n'évoque que l'observation, tandis qu'un second se réfère à l'observation et à la théorie (ou l'explication). L'activité pratique se différencie de l'activité théorique. Un troisième groupe se situe entre les deux premiers. Ces catégories sont décrites dans le tableau ci-dessous. Les réponses majoritaires (démarches et pratiques) ont disparu, car elles se sont réparties dans d'autres dimensions.

Élaboration en sciences	Q1.2.1	Q2.5
Démarches et méthodes (règle)	11 « <i>démarche</i> » + 10 « <i>méthodes</i> »	
Activités théoriques	3	5
Activités pratiques	10	

Tableau 48 : les catégories et sous-catégories évoquées de la dimension « *Élaboration en sciences* »

Les réponses laissent entrevoir un ordre méthodique de la démarche scientifique, ce qui apparaît avec la catégorie « *Démarches et méthodes* » et elles mettent en avant l'activité pratique qui semble primordiale. Cette question Q1.2.1 nous apporte essentiellement des informations sur place de l'observation dans la démarche (observer d'abord).

Nous avons obtenu quelquefois une information sur le statut de l'observation par rapport à la réalité (valorisée ou dévalorisée). La question Q.1.2.1 induit des règles (tout observer) ou des « *attitudes* », alors que la question Q2.5 porte sur la place de l'observation dans l'élaboration et est donc plus générale. Les réponses des élèves se rapportent peu à la place de l'observation dans la démarche, mais nous estimons qu'elles laissent percevoir quelques éléments sur la dimension des « *Visées et caractéristiques* ».

Sous dimension des « <i>Visées et caractéristiques</i> »	Q1.2.1	Q2.5
Objectifs	3	0
Caractéristiques générales de l'observation : rapport à la réalité de l'observation	4	6

Tableau 49 : les sous dimension de la dimension « *Visées et caractéristiques* »

3.3.2 L'ancrage théorique de l'observation

La question porte plus largement sur la subjectivité du chercheur : le paradigme « *personnel* » et ses capacités d'observation. Sa démarche est ancrée dans un contexte théorique défini et l'observation des phénomènes est liée à ses propres connaissances scientifiques. Les deux questions concernées sont « *Deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ?* » (Q1.2.2) et « *Comment expliquez-vous que Ptolémée et Copernic défendent des positions différentes ?* » (Q2.2).

3.3.2.1 Positionnement

Avant la séquence, la majorité des arguments portaient sur le cadre intellectuel avec les ressources intellectuelles et les connaissances scientifiques, mais aussi des façons de penser. Tandis qu'après, nous constatons une dissociation, présentée dans le tableau ci-après, notamment entre le contexte sociétal et les croyances au niveau individuel. L'activité des scientifiques est souvent liée à celle de la société tout entière et revêt une dimension collective. Ils ont pris conscience de l'épaisseur culturelle et historique des savoirs. La coexistence d'explications s'efface au profit de nouveaux arguments tels que la démarche, les présupposés et le cadre conceptuel.

	Arguments	nombre
1 ^{er} questionnaire	Pas d'argument	1
	Contexte sociétal (historique ou culturel)	3
	Cadre intellectuel ou façon de penser	20
	Regards ou visions différentes	5
	Coexistences d'explications	4
	L'erreur	2
2 ^{ème} questionnaire	Pas d'argument	2
	Contexte sociétal (historique, culturel)	7
	Croyance/Religion	6
	Démarche (ou élaboration)	13
	Présupposés/cadre conceptuel (observation inscrite)	10

Tableau 50 : comparaison des arguments sur l'ancrage théorique de l'observation

3.3.2.2 Dimensions de la NoS

Le résultat le plus immédiat de la question Q2.2 est que les élèves répondent sur la dimension « *temps* » et le contexte social. Ces dimensions n'apparaissent pas dans la question Q1.2.2 où les élèves mettaient surtout l'accent sur la dimension « *objets* » et sur la diversité de la « *communauté* ». L'histogramme ci-après montre la distribution de fréquences des dimensions.

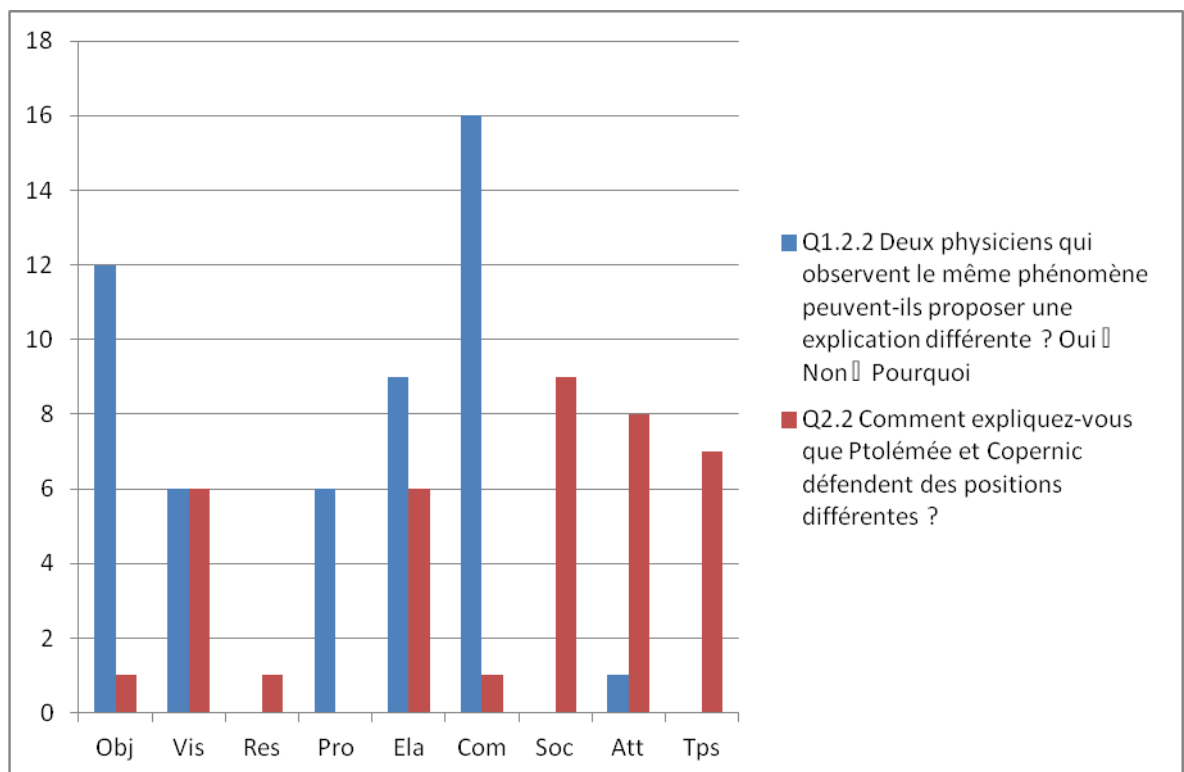


Figure 49 : ancrage théorique de l'observation

Ce résultat laisse entrevoir un lien avec l'homme et ses croyances religieuses, ce que renvoie la dimension « *société* ». La conception de l'observation a changé et elle n'est plus détachée de l'homme que ce soit l'individu ou la communauté scientifique. Le rôle de l'observation en sciences semble avoir été mieux compris par les élèves. Ce résultat souligne l'importance et la nécessité de distinguer : voir, percevoir et observer. Par ailleurs, nous retrouvons 6 occurrences pour la dimension « *Visées et caractéristiques* ». Ce nombre n'est pas plus important avant et après, mais la nature des réponses a évolué. Une lecture attentive des justifications montre clairement que les élèves ne disent pas la même chose. En particulier, dans la question Q2.2 ils

évoquent explicitement les présupposés, ce qui correspond bien à l’ancrage théorique de l’observation.

En dernière analyse, la question sous-jacente reste de savoir si les deux questions ne révèlent pas la même chose. C’est-à-dire que, dans un premier niveau, elles mettent en avant que les scientifiques sont incontestablement différents, car ce ne sont pas les mêmes hommes. Dans un deuxième niveau, ils ont des croyances différentes. Au troisième niveau, les croyances sont religieuses. Dans ce cas, le dernier niveau couple les 2 dimensions « *communauté* » et « *société* ».

3.3.3 Le rapport entre sciences et croyances

Les questions qui peuvent être mises en relation sur le rapport sciences et croyances sont :

- « *Peut-on être scientifique et croyant ?* » (Q1.5) ;
- « *Une lecture attentive des textes vous montre que la plupart de ces grands scientifiques étaient croyants, pensez-vous que cela ait pu avoir une grande influence sur leur travail en tant que scientifique ?* » (Q2.3).

Les questions ne sont cependant pas strictement comparables. Il ne s’agit plus d’un constat de fait (Q1.5), mais de savoir si la croyance a un rôle (Q2.3) dans l’activité scientifique.

3.3.3.1 Positionnement

Tel que présenté dans le tableau ci-après, les élèves ont assoupli leur position et ils ont évolué sur ce point. L’idée de l’antinomie est moins développée après cette séquence (10 % après, contre 24 % avant, code Cr.2), même si ce rapport reste assez confus pour la moitié d’entre eux (50 %, code Cr.3).

Rapport entre sciences et croyances	Code	Avant	Après
N’en parle pas	Cr.0	3 %	3 %
Oui, cela existe — pas d’argument	Cr.1	20 %	0 %
Contradiction	Cr.2	24 %	10 %
Confusion	Cr.3	20 %	50 %
Séparation	Cr.4	33 %	37 %

Tableau 51 : comparaison du rapport entre sciences et croyances

3.3.3.2 Dimensions de la NoS

Pour ces questions, la dimension « *attitude* » reste plus importante, comme le montre l’histogramme ci-dessous. Dans l’ensemble, celle-ci ne semble ne pas avoir évolué. Toutefois nous notons qu’avant la séquence les 19 occurrences de la dimension « *Attitude* » concernent le scientifique et son éventuelle croyance. Tandis qu’après celle-ci, les 18 occurrences portent sur la possibilité qu’une influence soit exercée dans le travail scientifique.

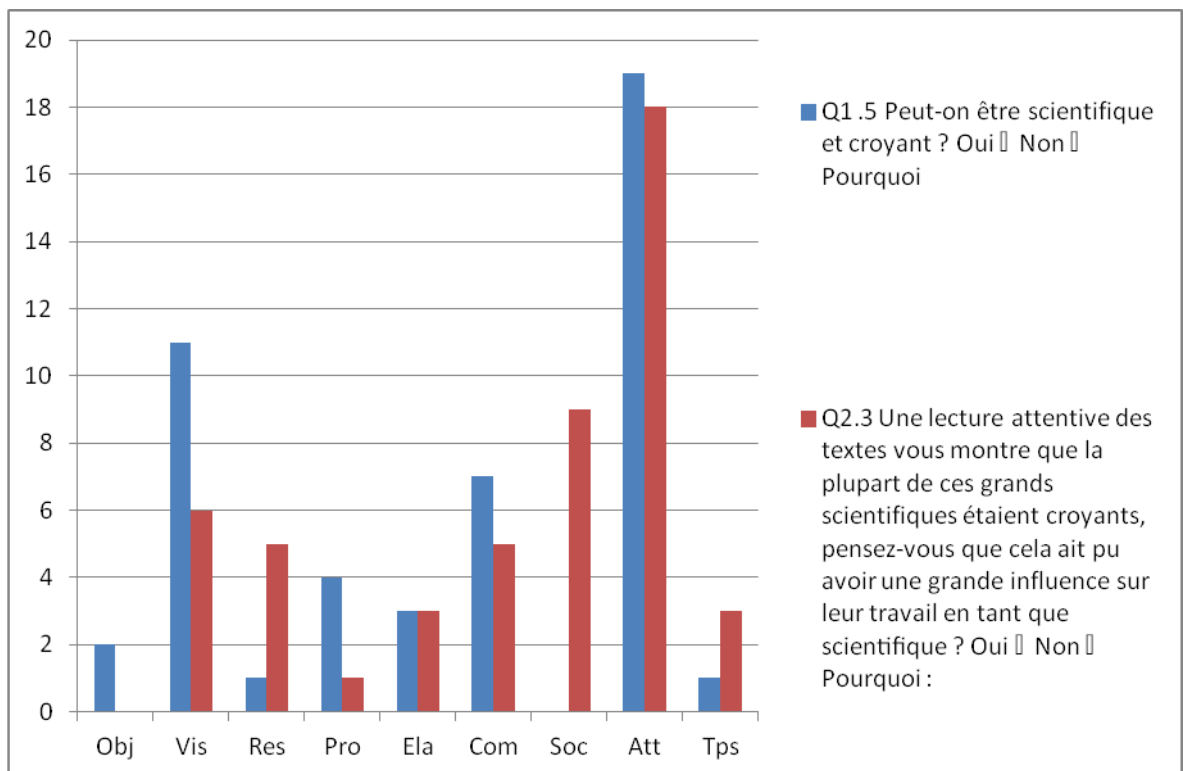


Figure 50 : rapport sciences et croyances

3.4 Comparaison des réponses fournies par élève avant et après la séquence

3.4.1 Place de l'observation dans la démarche

Le tableau croisé ci-dessous présente les réponses aux questionnaires avant et après la séquence didactique.

Avant Après	Obs.0	Obs.1	Obs.2	Obs.3	% Total
Obs.0		30 %	7 %		37 %
Obs.1		17 %			17 %
Obs.2		13 %	3 %	13 %	30 %
Obs.3		10 %		3 %	13 %
Obs.4	3 %				3 %
% Total	3 %	70 %	10 %	17 %	100 %

Tableau 52 : tableau croisé avant/après sur la place de l'observation dans la démarche

Alors que plus d'un tiers des élèves (37 %) répondent uniquement après enseignement que la place accordée à l'observation a évolué, nous remarquons que la quasi-totalité (30 %) d'entre eux considérait avant enseignement que l'observation est première dans la démarche scientifique. De plus, 23 % des autres réponses se trouvent décalée vers le bas, ce qui indique une évolution positive à l'échelle de la classe. Seuls 17 % des élèves n'ont pas changé d'avis et persistent à donner la primauté à l'observation sur la théorie.

3.4.2 Sciences et croyances

Le tableau suivant est fourni à titre de récapitulatif du rapport entre sciences et croyances et il met en lumière la difficulté des élèves à se positionner. Avant la séquence, ils se répartissaient sur les quatre catégories (ligne inférieure). Après cette séquence, ils sont partagés entre la confusion (Cr.3) et la séparation (Cr.4) (ligne à droite).

Avant Après	Cr.0	Cr.1	Cr.2	Cr.3	Cr.4	% Total
Cr.0		3 %				3 %
Cr.2			7 %	3 %		10 %
Cr.3	3 %	10 %	7 %	7 %	23 %	50 %
Cr.4		7 %	10 %	10 %	10 %	37 %
% Total	3 %	20 %	24 %	20 %	33 %	100 %

Tableau 53 : tableau croisé avant/après sur sciences et croyances

4. DE NEPTUNE A VULCAIN : ÉTUDE DES RESULTATS DE LA CLASSE ET BILAN

Au travers de cette activité, nous avons souhaité évaluer la séquence sur le rôle de l'observation et l'enrichir sur la question des valeurs implicites qui guident le travail scientifique. Ce n'est pas tant les critères de choix qui sont mis en avant dans cette activité, mais plutôt les démarches entreprises par les scientifiques et leur attitude. Nous présenterons donc ci-après les principaux résultats au regard de l'analyse des conceptions des élèves sur trois points particuliers, dont les deux premiers ont fait l'objet d'un travail explicite de synthèse et l'un est resté un objectif d'apprentissage implicite :

- Le rapport théorie et observation ;
- Les présupposés et valeurs ;
- L'attitude scientifique.

Nous évoquerons ensuite le rapport entre théorie et réalité qui se dégagent des réponses fournies et conclurons en mettant en perspective les résultats obtenus sur les deux premiers points avec ceux obtenus avant la séquence.

4.1 Selon vous, à qui doit-on attribuer la découverte de la planète Neptune ? Que doit-on en déduire du rôle de la théorie et de l'observation en science ?

4.1.1 La paternité de la découverte

Cette question s'inspire avant tout de la controverse historique autour de la paternité de la découverte de Neptune et par simplification, Adams n'est pas mentionné dans le texte. Doit-elle être attribuée à Galle, qui l'a vu, ou à Le Verrier qui a donné les éléments pour la voir ? Généralement, la découverte est attribuée à Le Verrier et à Galle, mais elle n'a été possible que dans le contexte d'une problématique qui imprégnait le milieu scientifique.

4.1.2 La théorie l'emporte sur l'observation

Il est clair, d'après les réponses obtenues des élèves, que la théorie (53 % pour Le Verrier, rôle de la mathématisation) l'emporte sur l'observation (seul 17 % pour Galle, confiné au rôle de vérification). Ceux qui ont répondu « *Le Verrier* » se fondent pour la plupart sur un ordre chronologique : d'abord, Le Verrier l'a prévu et après, Galle l'a observé. Julien va même un peu plus loin puisqu'il précise que Le Verrier est le premier à proposer une hypothèse.

Environ 10 % des élèves remontent bien avant Le Verrier. « *Les observateurs qui ont vu qu'il y avait un problème dans les calculs de trajectoires d'Uranus, car ce sont eux les initiateurs de la recherche. La théorie et l'observation sont complémentaires, l'un ne va pas sans l'autre dans la recherche de la compréhension du monde* » écrit Richard.

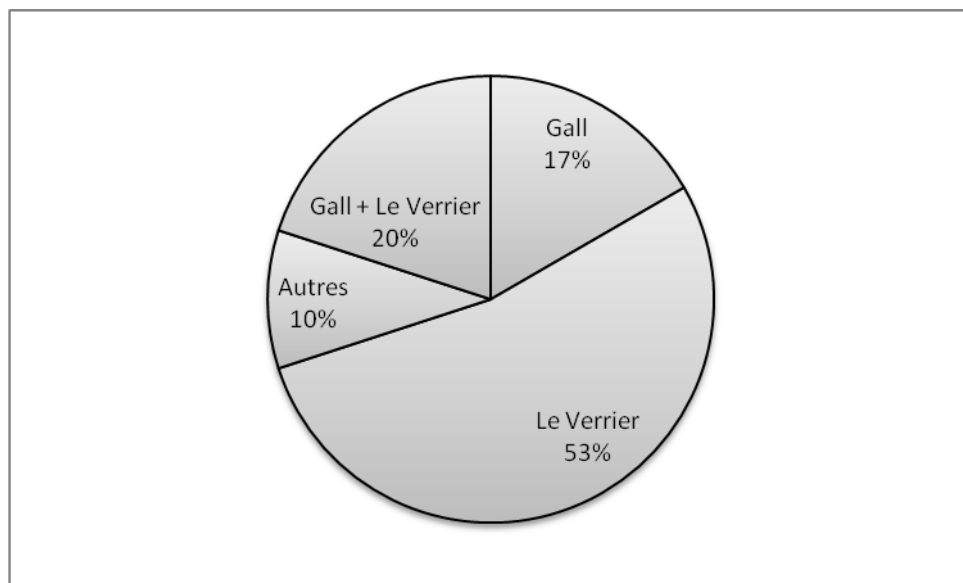


Figure 51 : à qui doit-on attribuer la découverte de la planète Neptune ?

4.1.3 La place de l'observation

Contrairement au questionnaire initial, l'observation n'est plus placée en premier. Parmi celles-ci, plus d'un tiers des justifications (37 %) mettent en avant la théorie qui oriente l'observation, comme Julien : « *La théorie a un rôle important, car, sans elle, les chercheurs n'observeraient pas certaines choses* ». Près d'un autre tiers des élèves (27 %) considère que l'observation valide la théorie, comme Benjamin :

« *l'observation confirme que la théorie est juste* ». Enfin, presque un quart des élèves (23 %) supposent que l'observation et la théorie sont nécessaires, mais sans les placer dans un ordre particulier. Mathieu explique « *que les deux sont indispensables* » ou bien Richard « *que c'est complémentaire* ». Seul Jérémie hiérarchise différemment leur rôle en affirmant que « *l'observation est plus importante que la théorie* ».

4.1.4 Le domaine de validité

Le domaine de validité est évoqué dans un peu plus de 10 % des réponses. « *Malgré les observations faites [Le Verrier] ne rejette pas la théorie de Newton* » dit Mélissa. Nous retrouvons l'idée que les scientifiques doivent connaître une accumulation de difficultés avant de tenter de changer radicalement la théorie. Sacha rajoute que « *malgré les contradictions des Lois de Newton [Le Verrier] était convaincu que ces lois étaient vraies et fit tout pour le prouver* ». Ce type d'argument est essentiellement avancé dans la question suivante.

4.2 Pourquoi les scientifiques alors qu'ils ne trouvent pas la planète cherchent-ils à tout prix à proposer d'autres hypothèses compatibles avec ce phénomène plutôt que de remettre en question les conclusions de la théorie de Newton ?

4.2.1 Des valeurs implicites de travail et la robustesse

Cette question porte sur le lien avec les valeurs implicites de travail et de robustesse. Une seule anomalie ne suffit pas à réfuter la théorie de façon définitive. Les scientifiques conçoivent d'autres hypothèses supplémentaires (ad hoc) afin d'essayer d'expliquer ce phénomène qui semble réfuter la théorie de Newton. Ils présupposent ainsi une autre planète doit exister dans le système solaire et qu'elle n'a jamais été observée. La supériorité d'une théorie en physique reste sa capacité à rendre compte des phénomènes de la façon la plus complète et la plus cohérente. Elle se périmé, par exemple, quand un paradigme plus simple rend compte de plus de phénomènes,

comme en mathématiques, où la simplicité et l'économie de la démonstration l'emportent.

4.2.2 Le domaine de validité

De manière générale, près de la moitié des réponses (44 %) considèrent que la théorie a été testée sur un certain nombre de points et, comme l'écrit Richard, elle a « *fait ses preuves* ». Nous pourrions appeler cet argument la robustesse de la théorie. Tant qu'elle permet d'expliquer un certain nombre de phénomènes, elle n'est pas immédiatement rejetée par les physiciens. Ainsi, Clément explique qu'elle « *fonctionne avec toutes les autres planètes* » ou Manon rappelle qu'« *ils ont pu calculer la trajectoire des sept planètes existantes à l'époque* ». Matthieu invoque un domaine de validité, puisqu'elle « *semble fonctionner avec toutes les autres observations* ». L'idée est que la théorie de Newton est suffisamment fiable et que les scientifiques ne vont pas tout remettre en question. D'ailleurs, cet argument rejoint la question sur l'explication mise en défaut.

4.2.3 Ne pas recommencer

Environ un tiers des réponses (30 %) pense que pour progresser les scientifiques ne doivent pas abandonner la théorie newtonienne et « *tout recommencer à zéro* », comme le dit Richard. Comme si les scientifiques avaient devant eux une page blanche, Mary explique de la même manière que « *la remettre en question aurait été repartir à zéro* ». Au contraire, ils doivent profiter du contenu empirique dont rend compte la théorie.

4.2.4 Une question de facilité

Certaines réponses (13 %) évoquent également l'attitude des scientifiques qui cherchent parfois aussi la facilité. Ce n'est pas exactement du même ordre que l'idée précédente de tout recommencer. Les élèves semblent converger sur l'idée que tout serait quand même plus facile et plus naturel si le chercheur partait des hypothèses compatibles. Cette idée reste en lien avec la personne, le chercheur, ce qu'il vit. Par

exemple, Matthieu pense qu'« *il est sûrement plus simple* » ou Emeric propose de « *chercher une hypothèse leurs faciliterait la vie* ». Plus que jamais, ce scientifique a besoin d'être rassuré, car, selon Matthieu, « *on préfère rester sur ses acquis plutôt que de tout remettre en question. C'est plus rassurant* » (Q.3).

4.2.5 Un paradigme explicatif

Il est intéressant de noter que trois élèves (10 %) affirment qu'il faut accepter la théorie. Mary écrit qu'elle « *était admise* » et Matthieu complète « *surtout de la faire admettre* ». Ces élèves prennent en compte un cadre de travail qui favorise l'acceptation d'une explication. Ce paradigme explicatif est un aspect nouveau qui n'apparaissait pas dans les réponses à la question sur l'explication mise en défaut.

4.3 Cette volonté de ne pas remettre en cause la théorie de Newton est-elle complètement rationnelle ?

4.3.1 La théorie et le contexte

Cette question porte implicitement sur les croyances dans les sciences. Elle aborde à la fois les notions de théorie et de contexte empirique. Les observations sont plus ou moins précises et dépendent de la qualité des instruments. Aussi parfois elles ne sont pas en cohérence avec les prévisions expérimentales. Les scientifiques peuvent avoir oublié des éléments dans leur analyse du contexte empirique ou alors la théorie ne s'applique pas au contexte particulier étudié. Il semble donc légitime de penser qu'une planète perturbe l'orbite d'une autre et d'avoir ainsi recours à une hypothèse ad hoc.

Pourtant s'agit-il d'une hypothèse ad hoc ou d'une modification du contexte ? Les scientifiques sauvegardent la théorie, car le contexte dans lequel la théorie s'applique n'est pas parfaitement perçu. Ptolémée, par exemple, modifie la théorie pour faire coïncider les prévisions aux observations. Tandis que Le Verrier garde la théorie alors que les scientifiques constatent effectivement un écart entre le modèle calculé et

le phénomène observé. Le Verrier conserve les deux explications et cherche à rendre compatible la théorie avec les observations. Il suppose l'existence d'une nouvelle planète qui n'a pas été intégrée dans les calculs. La théorie s'applique dans un contexte qui n'était pas encore entièrement connu. Finalement, il a fait évoluer le contexte tout en conservant la théorie.

4.3.2 Les élèves très partagés sur cette question

Que pensent les élèves de cette volonté de ne pas remettre en cause la théorie de Newton ? Ils sont en fait très partagés : 45 % des élèves estiment qu'elle est complètement rationnelle, mais 55 % des élèves ne voient pas de rationalité dans cette intention. « *Certains physiciens continuent tout de même à chercher* », répond Mélissa.

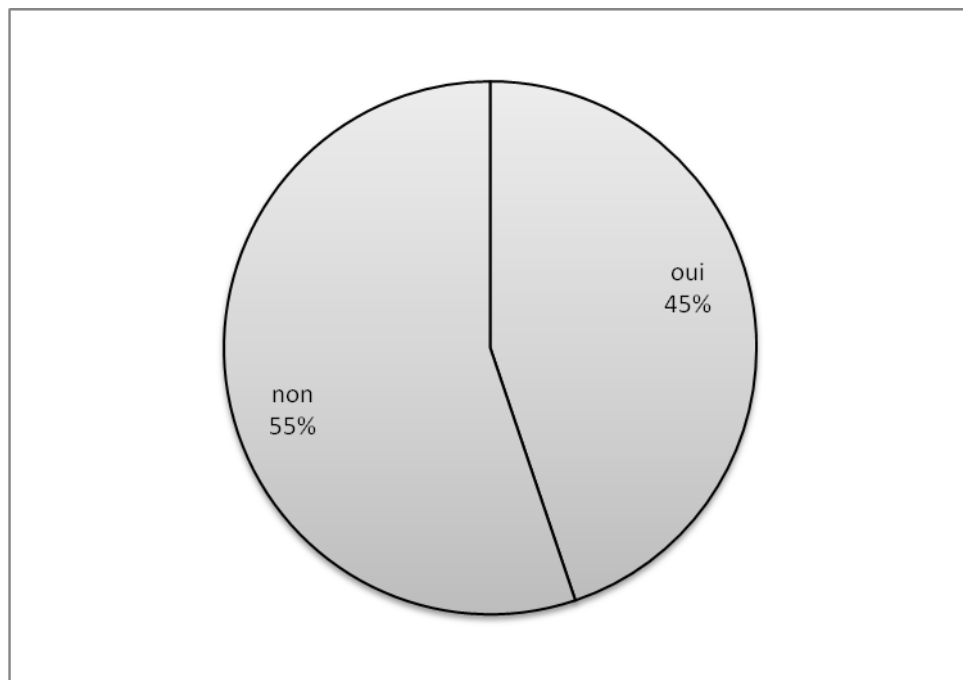


Figure 52 : cette volonté de ne pas remettre en cause la théorie de Newton est-elle complètement rationnelle ?

4.3.1 Le domaine de validité ou la robustesse

Environ un quart des élèves (23 %) relèvent des problèmes liés aux observations, comme Emeric : « *il suppose qu'il y a des erreurs dans leurs observations* ». Parmi

eux, Clément l'interprète comme un problème de planète, car « *c'est la seule planète dont la théorie ne fonctionne pas. L'anomalie vient donc de la planète, et pas de la théorie* ». Clément et Emeric se positionnent donc de manière différente. Le problème n'est pas dans la théorie qui est conservée (car elle fonctionne), mais dans l'existence d'une anomalie : pour l'un, elle est liée à l'observation et pour l'autre à la planète.

La difficulté pour ces élèves est de bien comprendre qu'une théorie s'applique dans un contexte donné. S'il n'est pas parfaitement connu, des paramètres ne seront pas pris en compte dans les calculs. Par conséquent, les calculs théoriques vont prévoir des résultats contradictoires avec les observations empiriques. Pour simplifier, les scientifiques ont en quelque sorte un résultat prévisionnel grâce à la théorie de Newton. Pourtant il existe une incohérence entre les observations et l'explication. L'observation pourrait être fausse, mais si nous remarquons des erreurs dans les observations, comme l'affirme Emeric, il faudrait retravailler sur les instruments, par exemple. Or, Le Verrier a proposé une hypothèse arbitraire, mais il n'a pas remis en question l'adéquation empirique de la théorie.

Fanny ne propose pas vraiment de justification contrairement aux autres élèves : « *C'est le fait de ne pas la remettre en cause qui les a poussés à chercher d'autres hypothèses ce qui les a menés à trouver Neptune* ». Elle justifie sa réponse par la conséquence du résultat, sans expliquer pourquoi les scientifiques n'ont pas remis en question la théorie newtonienne.

4.3.2 Le rapport à la réalité

La séquence semble changer le rapport observation/théorie des élèves. Par contre, le rapport de l'explication à la réalité semble assez particulier. Près d'un tiers des élèves (30 %) partagent l'idée que la théorie doit tout expliquer. Marine répond « *Oui, car la théorie de Newton est vraie* ». Les scientifiques cherchent une théorie qui explique tout puisque la théorie est censée décrire la réalité telle qu'elle est. Ce n'est donc pas une représentation construite par l'Homme, mais plutôt une théorie qui correspond à la réalité telle qu'elle est. Ainsi, un nombre non négligeable d'élèves a une position réaliste.

D'après les réponses de la question Q3.2, nous pouvons dire que les élèves considéraient que la théorie était assez robuste et donc elle était conservée. Dans cette question Q3.3, certains expliquent que pour qu'une théorie soit vraie, il faudrait qu'elle englobe tout. Par exemple, Richard : « *la théorie n'englobant pas tout se trompe sur toute la ligne. Il n'est clairement pas tout à fait rationnel de croire en une théorie où il y a un contre-exemple* » ou encore Mélissa : « *Quand une hypothèse ne s'applique pas partout, habituellement on la rejette* ». Selon eux, le domaine de validité d'une explication doit être vraiment très large. D'ailleurs en Q.2 Mélissa va jusqu'à dire qu'« *ils pourraient passer à côté de la théorie exacte.* »

Sur le plan de la réalité, nous remarquons encore que seul un élève présente un rapport un peu différent à la réalité. Il s'agit de Quentin : « *Mais ce ne sont que des théories, elles peuvent donc être fausses.* » Il considère que les théories ne sont que des hypothèses. Il s'agit d'une position positiviste dans le sens où ce n'est qu'une représentation de la réalité, et non une copie.

4.3.3 Tout recommencer ou tout garder

Comme pour la question précédente (Q3.2), 17 % des élèves refusent l'idée de tout remettre en question. Il ressort de façon peu surprenante des réponses que les scientifiques ne gagneraient pas à remettre tout à plat. Selon Matthieu, « *si on remet en question chacune des lois, on n'avancera jamais* ». Lucille explique que les scientifiques prennent les explications qui existent : « *S'ils remettaient en question cette théorie, ils n'auraient plus rien pour expliquer ce phénomène* ». Cependant, Manon apporte une vision un peu différente en affirmant que « *le fait de ne pas remettre en cause la théorie de Newton ne peut pas être irrationnel, car cela remettrait en doute toute la science* ». L'idée sous-jacente est que les sciences ne sont fondées que sur des arguments. Newton est perçu comme un génie et sa théorie est importante. Il n'est pas possible de remettre en doute toutes les sciences, car sinon il faudrait tout recommencer.

4.4 La « vraie » démarche scientifique ne serait-elle pas plutôt dans l'attitude qui interroge les théories existantes plutôt que dans celle qui cherche à les préserver à tout prix ?

Il s'agit de la dernière question et nous demandions aux élèves de se positionner, mais 17 % des élèves n'ont pas répondu à cette question. Au lieu de valider une théorie par rapport à l'expérience, il nous semble que les scientifiques la valident préférablement par rapport à une autre théorie (cf. La théorie de Ptolémée réfutée par celle de Copernic). La question sous-jacente reste de savoir ce qu'est une démarche scientifique. Les scientifiques ont des représentations et des valeurs qui orientent leur démarche. Sur le plan de l'enseignement, nous estimons nécessaire d'explicitier les choix et les présupposés qui fondent le travail scientifique. Parmi ceux-ci, nous pouvons distinguer, par exemple, des présupposés de nature explicative (cercles de Ptolémée) ou d'ordre méthodologique (explication la plus simple) liés à des valeurs. Il nous semble également nécessaire de souligner certaines qualités telles que l'esprit critique, l'autocritique et la remise en question.

4.4.1 Le rapport à la réalité et à la vérité

Près d'un quart (20 %) des élèves affirme qu'une des visées des sciences reste de chercher la vérité. Ces élèves ont une idée probablement réaliste, comme Mary qui écrit que « *l'activité scientifique est de chercher la vérité* ». Toutefois, le domaine de validité peut être un peu différent. Par exemple, Benjamin cherche à « *déterminer si elles sont vraies, fausses ou partiellement vraies* ». De son côté, Clément propose des éléments liés à la robustesse des théories. Nous ne gardons pas les théories, s'il existe trop d'anomalies. En effet, si elles « *fonctionnent parfaitement pour plusieurs choses et qu'elles ne fonctionnent pas pour une, il vaut mieux la préserver. Cependant, s'il y a plusieurs incohérences, il vaut mieux en chercher une meilleure* ». Cet argument semble intéressant, car Clément n'utilise pas l'adjectif « vrai » pour qualifier la théorie, mais un superlatif relatif de supériorité.

4.4.2 L'attitude des scientifiques

Environ 17 % des élèves retiennent l'argument selon lequel les scientifiques devraient se libérer d'un certain nombre d'influences. Pour Lucille, il faut que « *les scientifiques ne soient pas influencés* » et Fanny pense que leur travail consiste « *donc à chercher de nouvelles hypothèses sans être influencé* ». Cependant, ces élèves n'identifient pas les facteurs d'influence internes ou externes. Par exemple, font-ils référence aux paradigmes dominants ? Ou bien à la subjectivité de la personne ? Seul Matthieu fait référence à des règles dans l'élaboration des sciences et « *il faut pouvoir justifier son choix* ». Autrement dit, il faut chercher des preuves argumentées.

4.5 Bilan des réponses et commentaires relatifs au questionnaire

Les réponses des élèves mettent en avant de manière implicite qu'il faudrait que les scientifiques arrivent absolument à tout expliquer. Les arguments des élèves font appel à plusieurs mots et idées apparentées au vrai-faux. Nous pouvons émettre l'hypothèse que les élèves ne raisonnent pas par rapport à un écart entre la théorie et les observations, mais que la théorie décrit la réalité. Face à une anomalie, les élèves pensent que les scientifiques construisent une explication en partie fautive et qui ne peut pas fonctionner. Dans l'ensemble, deux semaines après, nous notons une certaine stabilité des concepts construits pendant la séquence. L'importance de la théorie paraît nettement mieux perçue qu'avant bien qu'une version réaliste subsiste (les élèves évoquent souvent la vérité et très peu de critères de choix).

4.5.1 Observation et démarche

La question de la découverte de Neptune (Q3.1) peut être mise en perspective avec celles des questionnaires précédents :

- Q1.2.1 « *Est-ce que d'après vous un bon physicien est quelqu'un qui observe d'abord ?* »

- Q2.5 « *Cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ?* »

Une analyse rapide des résultats montre clairement une tendance à la baisse de la conception d'observation première. Elle ne représente plus que 17 % des réponses après cette seconde activité. Par ailleurs, les réponses au questionnaire invoquent l'idée de communauté et d'attitude et les arguments résonnent avec des réponses fournies à la question « *explication mise en défaut* ». Ce résultat est important, car il montre que les représentations des élèves ont évolué sur ce point.

4.5.2 Les présupposés et les valeurs

Concernant les présupposés et les valeurs, il est intéressant de comparer ces deux questions et de comparer les réponses des élèves :

- Q1.3 « *Lorsqu'une explication est mise en défaut par une observation est-elle abandonnée par les physiciens ?* »
- Q3.2 « *Pourquoi les scientifiques alors qu'ils ne trouvent pas la planète cherchent-ils à tout prix à proposer d'autres hypothèses compatibles avec ce phénomène plutôt que de remettre en question les conclusions de la théorie de Newton ?* »

D'après les résultats présentés dans le chapitre précédent, les justifications des élèves sont plus riches après la séquence et davantage en lien avec l'attitude scientifique. Pourtant 43 % des réponses à la question Q3.2 pourraient être considérées comme problématiques, puisqu'elles ne cherchent pas à remettre en question la théorie établie.

Conclusion

Plusieurs travaux de recherches sur la nature des sciences (Lederman, 2007 ; Mc Comas, 1998 ; Matthews, 2003) montrent que les élèves ont une conception des sciences non conforme à celle de l'épistémologie contemporaine. De multiples difficultés ont été mises en évidence en particulier liées à une vision réaliste « naïve » ou empiriste et sur leur représentation du rapport sciences et croyances (Cobern, 2000 ; Hansson et Redfors, 2007). Afin d'aider les élèves à dépasser leur représentation des sciences, de nombreux chercheurs suggèrent d'utiliser l'histoire des sciences comme stratégie pédagogique (Abd-El-Khalick et Lederman, 2000).

Partant de ce constat, nous avons tenté de démontrer que nous pouvons enrichir la vision des sciences des élèves et leur faire prendre conscience de ses multiples dimensions, au travers d'une séquence à caractère historique. La démarche scientifique est une démarche humaine et collective, loin de l'image rationnelle et surtout très empirique que s'en font les élèves. Cette séquence nous a permis de travailler plus spécifiquement plusieurs objectifs : le rapport théorie-observation, l'ancrage théorique, l'existence de valeurs au sein des pratiques scientifiques et la séparation des registres scientifiques et religieux.

Facile d'accès et largement analysé sur le plan épistémologique, le thème retenu a été l'histoire du passage du système géocentrique au système héliocentrique. Il s'inscrit dans la volonté d'expérimenter dans un cadre contraint, celui d'une année de baccalauréat en terminale S. Il s'insère parfaitement dans le programme de physique-chimie. La séquence, que nous avons élaborée, testée et améliorée, comporte deux étapes. Les élèves ont d'abord construit un diagramme montrant l'évolution entre deux systèmes du monde et de leurs présupposés, à partir des sept textes que nous avons rédigés. Ensuite, les élèves ont étudié un texte portant sur la découverte de Neptune et les tentatives pour observer Vulcain. Il est important de préciser que notre recherche relève d'une étude de cas sur une situation qui n'est pas abordée en tant

que telle dans l'enseignement français, ni dans la littérature de recherche, qu'elle soit anglo-saxonne ou francophone.

Nous avons élaboré trois questionnaires afin d'explorer les représentations des élèves et leur évolution à chaque étape de la séquence didactique. Ceux-ci permettent d'explorer trois points travaillés explicitement et de manière réflexive dans la séquence. Ils visaient également à examiner la représentation que les élèves se construisaient sur ce qu'est être un scientifique au travers d'une approche implicite. L'analyse des réponses fournies par les trente élèves auprès de qui la dernière expérimentation a eu lieu est novatrice, car elle a été réalisée sur la base de deux types de critères : par positionnement épistémologique selon Schwartz et Lederman (2002) et par la richesse de la nature des sciences selon la matrice à neuf dimensions de Maurines *et al.* (2013). L'analyse par la *NoS* permet de mettre en évidence l'importance accordée à chaque dimension, et notamment la place accordée aux dimensions associées aux facteurs humains, sociaux et culturels. Une analyse à un grain plus fin permet d'examiner le détail des aspects évoqués dans chaque dimension. Il est d'autant plus intéressant d'examiner si ces propositions méthodologiques en termes d'analyse par dimension étaient opérationnelles, ce qu'elles apportaient. Cette double analyse a permis de rendre compte d'une vision plus complète des différentes dimensions et des relations dont il faut tenir compte dans les réponses. Elle nous a ainsi permis d'identifier un profil de la classe tant avant qu'après la séquence. Elle a également montré certains types d'association de réponses. Néanmoins, elle ne nous a pas permis de dégager des profils d'élèves sur la totalité des questions, car certaines réponses ne s'y prêtaient pas.

Principaux résultats

Au terme de cette expérimentation, nous pouvons d'abord souligner que cette démarche a suscité l'intérêt des élèves. Ils ont tous répondu aux questionnaires et ont construit le diagramme. Ce résultat est d'autant plus encourageant que ces élèves avaient des résultats scolaires légèrement en dessous des résultats nationaux. Les questionnaires montrent que la progression de la majorité des élèves semble significative sur des points importants : la question du rapport de la théorie à

l'observation et la place des croyances dans les sciences. L'examen de leurs propos montre que l'idée qu'ils se faisaient de ces points épistémologiques a évolué et s'est enrichie par le nombre de dimensions et de catégories mobilisées.

Le questionnaire initial indique une confusion dans l'esprit des élèves au sujet de la pratique scientifique en mettant en évidence une inversion pour eux des rôles de l'observation et de la théorie. Ainsi, avant la séquence, la quasi-totalité des élèves (77 %) s'accordent pour affirmer que l'activité du physicien commence par l'observation. Après la séquence, plus des trois quarts des élèves (83 %) affirment que l'idée qu'ils avaient de la place de l'observation dans la démarche scientifique a évolué.

Sur le plan de l'ancrage théorique de l'observation (et plus généralement la subjectivité), la grande majorité des élèves (70 %) donnent des arguments en lien avec au moins un de nos deux objectifs : la démarche ou les présupposés. Les réponses font ressortir des justifications pouvant aller jusqu'à trois arguments de différente nature : contexte sociétal (historique, culturel) ; croyance ou religion ; démarche (ou élaboration) et présupposés ou cadre conceptuel (observation inscrite). Toutefois, nous ne pouvons pas affirmer que cette séquence a abouti à des résultats concrets et quantifiables sur la question du rapport de la théorie à la réalité. Ce point a été plus délicat à exploiter dans les questionnaires. L'importance de la théorie paraît nettement mieux perçue qu'avant bien qu'une version réaliste semble subsister, comme l'ont montré Larochelle et Désautels (1992).

Enfin, les scientifiques peuvent être croyants pour la majorité (77 %) des élèves. Les résultats obtenus indiquent toutefois une difficulté à différencier les registres pour la moitié d'entre eux. Les élèves mettent sur le même plan les textes religieux et scientifiques. Ils interprètent la croyance, parfois comme un moteur selon un aspect psychologique ou au contraire comme un frein selon un aspect sociétal. Ces résultats témoignent de la difficulté des élèves à faire la part entre les interprétations irrationnelles et les résultats rationnels. Les questions de notre étude ne permettent pas d'aller plus loin dans l'analyse, notamment à propos de l'influence sur la pratique ou les résultats de l'activité scientifique. Il serait nécessaire de poursuivre les recherches pour clarifier leur conception sur ce rapport.

Sur le plan de la nature des sciences, la comparaison des dimensions évoquées dans les réponses montre une différence significative entre les résultats avant et immédiatement après la séquence. Le profil général de classe montre qu'après la séquence les dimensions « *Visées et caractéristiques* », « *communautés* » et « *sociétés* » apparaissent davantage dans les arguments des élèves, alors qu'avant la séquence, les réponses privilégiaient de loin les dimensions « *objets* » et « *élaboration en sciences* ».

Limites et perspectives de la recherche

Proche d'une situation de classe ordinaire, cette séquence est pour le moins inhabituelle, même si elle s'inscrit dans le type d'activités préconisées par le programme de physique-chimie de terminale S. Dans la mesure où ce type d'activité ne correspond pas directement au contrat didactique attendu par les élèves, nous pouvons nous demander comment d'autres élèves peuvent réagir. Se pose alors le problème de la généralisation des résultats dans un autre contexte d'enseignement disciplinaire et/ou interdisciplinaire. Se pose également la question d'un lien entre le niveau scolaire des élèves interrogés et les résultats obtenus. Les résultats du post-test présentent une certaine stabilité de l'apprentissage, mais ces constats ayant été établis dans un laps de temps réduit, il conviendrait de tester à nouveau ultérieurement les points de vue des élèves.

Cette étude était centrée sur un thème historique particulier. Est-ce que les résultats que nous obtenons sont transférables à une autre situation historique ? Nous pourrions envisager, par exemple, la mise en place d'un autre thème historique mettant en valeur les mêmes mécanismes afin d'évaluer la capacité des élèves à réinvestir des connaissances acquises sur la *NoS*. D'autres pistes et ouvertures peuvent être envisagées afin de rendre la séquence plus efficace.

Concernant les textes, il serait possible de réduire leur nombre de sept à deux afin d'alléger le travail demandé et de gagner du temps pour approfondir les significations des contenus épistémologiques. Nous pourrions demander aux élèves de construire le

diagramme sans leur imposer la forme. Cette construction pourrait être réalisée soit en version papier, soit en version numérique avec un logiciel tel que Free-Mind. Le diagramme de synthèse pourrait encore être amélioré en faisant apparaître davantage la dimension humaine.

Par ailleurs, les résultats dépendent aussi des questions de recherche qui sont posées. L'attitude scientifique était un objectif implicite d'apprentissage dans la séquence, car elle n'apparaissait pas explicitement dans les tableaux à renseigner et dans le diagramme de synthèse. Nous pourrions envisager différents types de schéma dont le contenu des différentes bulles varie en fonction du sujet d'étude : la communauté ou la personne. Nous pourrions également réaliser un travail préliminaire par scientifique afin de mettre en évidence des différences de contenu dans les bulles associées aux trois registres. Enfin, nous pourrions aussi envisager un travail qui prenne en compte le temps : différentes phases du travail d'une même personne permettrait de montrer la séparation des registres scientifique et religieux dans le discours scientifique.

Sur le plan de la méthodologie, nous avons élaboré des questionnaires et recueilli les tableaux et diagrammes renseignés par les élèves. Il serait pertinent de filmer ce qui se passe pendant la séance. Cela permettrait une analyse plus étayée des réponses des élèves. Il serait sans doute possible de réaliser des entretiens de chaque groupe avant la mise en commun des réponses.

L'étude serait à prolonger en couplant les analyses obtenues par une étude de la complexité. Il nous semble qu'il existe des étapes nécessaires dans le développement de l'image des sciences des élèves. Passer d'une vision internaliste à une vision externaliste constituerait une première étape qui enrichirait leur vision des sciences (Désautels et Larochelle, 1992 ; Roletto, 1998). La deuxième étape serait la compréhension des liens entre les différentes dimensions. En particulier, la dimension humaine est dissociée des résultats des sciences alors qu'une part de subjectivité reste dans les savoirs scientifiques. Dans cette vision complexe, les différentes dimensions seraient liées les unes aux autres.

Au-delà de ces remarques sur l'organisation de la séquence didactique et de son observation, et partant du constat que les perceptions des élèves de l'activité scientifique ont évolué, se pose la question du lien entre les résultats obtenus et le fait que le chercheur est aussi l'enseignant qui a mis en œuvre la séquence. Ces résultats pourraient-ils être obtenus par d'autres enseignants ? A quelles conditions ? Se pose alors la question de comment transférer la séquence à d'autres enseignants et sur la façon dont ils se l'approprient.

Propositions d'enseignement et de formation

L'image de la *NoS* des élèves est influencée, du moins en partie, par l'enseignement en classe. Cette idée conduit à donner une plus grande importance à l'image des enseignants sur la *NoS*. Les études montrent que les enseignants en formation ont également des représentations spontanées fondées sur des modèles épistémologiques proches du sens commun (Roletto, 1998).

Ce travail pourrait être mis à profit dans la formation des enseignants. Le corpus de documents élaboré pour cette étude devrait pouvoir être mobilisé par les enseignants. Nous pourrions également concevoir un document d'accompagnement pour aider les enseignants à construire leurs progressions. Il proposerait des éléments historique et épistémologique qui leur permettraient de saisir les principaux enjeux transversaux. Quelques pistes seraient également indiquées pour mettre en œuvre les différentes étapes de cette séquence. Un travail serait à poursuivre sur les intitulés des tableaux ou des diagrammes afin que l'enseignant ne soit pas contraint d'apporter des explications supplémentaires qui pourraient risquer d'influencer la réponse. Mais les enseignants seront-ils intéressés pour mettre en place cette séquence ? Que feront les enseignants eux-mêmes ? Se limiteront-ils à un objectif plus facile à atteindre, comme la place de l'observation dans la démarche ? Ce sont autant de pistes de recherche à conduire ultérieurement que de pistes en matière de formation des enseignants.

Bibliographie

- ABD-EL-KHALICK F., and BOUJAOUDE S. (1997). An exploratory study of the knowledge base for science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 673–699.
- ABD-EL-KHALICK F., BELL R. L., LEDERMAN N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: making the unnatural natural. *Science Education*, 82,417-436
- ABD-EL-KHALICK F. and LEDERMAN N.G. (2000). The influence of History of Science Courses on Students' views of Nature of Science. *Journal of research in science teaching*, vol. 37, n ° 10, p. 1057–1095.
- ABD-EL-KHALICK F., and AKERSON V. L. (2004). Learning about nature of science as conceptual change: Factors that mediate the development of preservice elementary teachers' views of nature of science. *Science Education*, 88 (5), 785–810
- ADÚRIZ-BRAVO A (2010). Use of the history of science in the design of research-informed NOS materials for teacher education. In P. V. Kokkotas, K. S. Malamitsa & A. A. Risaki (éd.), *Adapting historical knowledge to the classroom*. Rotterdam : Sense Publishers, p. 195–204.
- AGUIRRE J. M., HAGGERTY S. M. and LINDER C. J. (1990). Student-teachers' conceptions of science, teaching and learning: a case study in preservice science education. *International Journal of Science Education*, 12, 381–390.
- AIKENHEAD G.S. (1996). Science Education: Border Crossing into the Subculture of Science. *Studies in Science Education*, 27, 1–52.
- AIKENHEAD G. S., FLEMING R. W. and RYAN A. G. (1987). High-school graduates' beliefs about Science-Technology-Society. Methods and issues in monitoring student views. *Science Education*, Vol. 71, n°2, pp.145-161.
- AKERSON V.L. et ABD-EL-KHALICK F. et LEDERMAN N. (2000). Influence of a reflective explicit activity-based approach on elementary teachers' conceptions of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 295–317.
- ALLCHIN D. (2003). Scientific Myth-Conceptions. *Science Education* 87: 329–351.
- ALLCHIN, D. (2004). Should the Sociology of Science Be Rated X? *Science Education* 88: 934–946.
- ALLCHIN D. (2011). Evaluating knowledge of the Nature of (whole) science. *Science Education*, 95, 918–942.
- ALLCHIN D., ANDERSEN H.-M., and NIELSEN K. (2014). Complementary approaches to teaching nature of science: integrating student inquiry, historical cases, and contemporary cases in classroom practice. *Science Education*, 98 (3), 461–486.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. *Atlas of Science Literacy* (2001). <http://www.project2061.org/publications/atlas/default.htm>

- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. *Benchmarks for Science Education* (1993).
<http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php>.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. *Science for All Americans*. (1989). <http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>
- ANDERSON R.D. (2002). Reforming Science Teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, n ° 13, p. 1–12.
- ARORA A. and KEAN E. (1992). Perceptions of doing science : science teachers' reflections. In S. Hills (Ed.), *The history and philosophy of science in science education. Proceedings of the second international Conference on the history and philosophy of science and science teaching*, Vol. 1. Kingston, Ontario, Queen's University, pp. 53-68.
- AROUA S. (2006). *Dispositif didactique pour l'enseignement de l'évolution. Débat en classe pour l'enseignement de la théorie de l'évolution en Tunisie*. Thèse de doctorat. ENS de Cachan et ISFEC de Tunis.
- ARTIGUE M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3), 281-308.
- ASTOLFI J.P., DAROT E., GINSBURGER-VOGEL Y. and TOUSSAINT J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences. Repères, définitions, bibliographies*. De Boeck.
- ASTOLFI J.-P. et DEVELAY M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : PUF.
- AUROUX S. (1990). *Les Notions philosophiques*. Dictionnaire, Presses universitaires de France, t. II de l'Encyclopédie philosophique universelle, 2 vol.
- AYDENIZ M., BAKSA K. and SKINNER, J. (2011). Understanding the Impact of an Apprenticeship-Based Scientific Research Program on High School Students' Understanding of Scientific Inquiry. *Journal of Science Education and Technology*, 20(4), 403-421.
- BACHELARD G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*. Presses Universitaires de France. (5e édition 1949).
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de connaissance objective*, Paris, Vrin, 1986 (1^{re} éd., 1938).
- BACHELARD G. (1951). *L'Activité rationaliste de la physique contemporaine*, PUF, Paris.
- BALIBAR F. (2008). *Galilée, Newton lus par Einstein Espace et relativité*, PUF, Philosophies.
- BERNARDI B. (2012). *La démocratie*, Paris : Garnier-Flammarion, collection « Corpus ».
- BIDAR A. (2012). *Pour une pédagogie de la laïcité à l'école*, La Documentation française.
- BILLEH V. Y. et HASAN O. E. (1975). Factors influencing teachers' gain in understanding the nature of science. *Journal of Research in Science teaching*, 12 (3), 209-219.
- BLAY M. et HALLEUX R. (1998). *La Science classique — xv^e-xviii^e siècle — Dictionnaire critique*, Flammarion.
- BODEÛS R. (2004). *Éthique à Nicomaque*, Flammarion, Paris.
- BODZIN A. and GEHRINGER M. (2001). Breaking Science Stereotypes. *Science and Children*, 39, 36- 41.

- BOHRMANN M.L. and AKERSON V. (2001). A teacher's reflections on her actions to improve her female students' self-efficacy toward science, *Journal of Elementary Science Education*, 13(2):41-55
- BOILEVIN J.M. (2014). Désaffection pour les études scientifiques et recherche en éducation scientifique. *Review of science, mathematics and ICT Education*, 8 (2), 5–23.
- BOY D. (2000). « *Mythes et réalités de la science d'aujourd'hui* » in *Témoin*, janvier 2000, n° 19 : *Les enjeux politiques de la science*, p. 24.
- BRACCO C., KREBS G., CHARRIER R. et ALBRECHT F. (2004). *Histoire des idées sur la lumière : de l'Antiquité au début du XXe siècle*. Paris : Centre national de documentation pédagogique [cédérom].
- BRENNER A. (2011). *Raison scientifique et valeurs humaines. Essai sur les critères du choix objectif*. Paris : Presses universitaires de France.
- BRICKHOUSE N.W. (1990). Teacher's beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, 41(3), 53-62.
- BRICKHOUSE N.W. (2001). *Embodying Science: A Feminist Perspective on Learning*. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (3), 2828-295.
- BRISSON L. (1995). *Timée*, Flammarion, GF, Paris.
- BROUSSEAU G. (2003). Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques. [pagesperso-orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf]
- BUTY C. (2000). *Etude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique*. Thèse de doctorat, Université Lyon 2, Lyon.
- BUTY C. et PLANTIN C. (2008). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. INRP. Collection didactique, apprentissages, enseignements.
- BYBEE R.W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Portsmouth: Heinemann.
- BYBEE R. W. and BEN-ZVI N. (2003). Science curriculum: Transforming goals to practice. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 487–498). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- CALMETTES B. (2012), *Modélisation pragmatiste de l'action didactique de l'enseignant — le cas des démarches d'investigation en physique au collège*, Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Toulouse 2, Toulouse.
- CANTO M. (1991). *Ménon*, Flammarion, GF, Paris.
- CAREY R. L. and STAUSS N. G. (1970). An analysis of experienced teachers' understanding of the nature of science. *School Science and Mathematics*, Vol. 70, pp. 366-376.
- CAREY S. and SMITH C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28 (3), 235–251.
- CHABCHOUB A. (2001). Rapports aux savoirs scientifiques et culture d'origine. In B., Charlot (Éd.). *Les Jeunes et le Savoir. Perspectives internationales* (pp. 117-132). Paris : Anthropos.

- CHABERLOT F. (2012). *La Science est-elle un conte de fées ?* CNRS Éditions, Paris.
- CHALMERS A.F. (1987). *Qu'est-ce que la science ?* Paris : La Découverte.
- CHALMERS A. F. (1991). *La fabrication de la science*. Paris : La Découverte.
- CHARBONNIER S. (2018). Peut-on faire croire autrement les élèves ? Enjeux épistémologiques d'une modestie sur ce que croire veut dire. *Recherches en Éducation* — n°32 — Mars 2018.
- CHAREIX F. (2011). *La Révolution galiléenne, cosmos et univers*, Ellipses.
- CHARLOT B. (1997) Du rapport au savoir : éléments pour une théorie. Paris : Anthropos.
- CHEN, S. (2006). *Development of an instrument to assess views on nature of science and attitudes toward science*. *Science Education*, 90, 803–819.
- CLAVELIN M. (1968). *La Philosophie naturelle de Galilée : Essai sur les origines et la formation de la mécanique classique*, Albin Michel, 1998 (première édition 1968).
- CLOUGH M. P. (1997). Strategies and activities for initiating and maintaining pressure on students' naive views concerning the nature of science, *Interchange*, 28, 191-204
- COBERN W. W. (1996) *Worldview Theory and Conceptual Change in Science Education*. *Science Éducation*, 80 (5), 579-610.
- COBERN W. W. (2000). *The Nature of Science and the Role of Knowledge and Belief*. *Science and Education*, 9, 219–246.
- COINCE D. MIGUET A.-M., PERREY S., RONDEPIERRE T., TIBERGHIEU A., VINCE J., (2008) Une introduction à la nature et au fonctionnement de la physique pour des élèves de seconde, BUP vol.102, janvier 2008, p. 3-20
- COLLINS H. (1987). "Certainty and the Public Understanding of Science on Television", *Social Studies of Science*, 17, p. 689–713.
- CONANT J. B. (1947). *On understanding science: An historical approach*. New Haven: Yale University Press.
- COQUIDE M., FORTIN C. et RUMELHARD G. (2009). *L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites*. Aster, 49, p. 51-78.
- DAGHER Z. and COSMAN G. (1992). Verbal explanations given by science teachers : their nature and implications. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 29, n°4, p. 361-374.
- DENG F. CHEN D.-T. TSAI C.-C. and CHAI C. S. (2011). Students' Views of the Nature of Science: A Critical Review of Research. *Science Education*, vol. 95, n° 6, p. 961–999.
- DESAUTELS J. et LAROCHELLE M. (1989). Qu'est-ce que le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes. Les Presses de l'Université de Laval. Québec.
- DESAUTELS J., LAROCHELLE M., GAGNE, B. et RUEL F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1 : 49-67.
- DRAKE S. (1987). *Galilée, essai*, Actes Sud.
- DRIVER R., LEACH J., MILLAR R. and SCOTT P. (1996). *Young people's images of science*. Bristol : PA Open University Press.
- DRIVER, R., NEWTON, P.E. and OSBORNE, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms *Science Education*, vol 84, no. 3, pp. 287–312.

- DUHEM P. (2003). *Sauver les apparences : essai sur la notion de théorie physique, de Platon à Galilée*, Vrin.
- DUMINIL M.-P. et JAULIN A. (2008). *Métaphysique*, Flammarion, GF, Paris.
- DUSCHL R. A. (1990). *Restructuring science education*. New York: Teachers College Press.
- DUSCHL R. A. and OSBORNE J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in science education. *Studies in Science Education*, 38, 39–72.
- ELGHORDAF A. (1985). *La philosophie des sciences des enseignants*. Thèse de maîtrise non publiée. Québec, Université Laval.
- ERDURAN S. and DAGHER Z.-R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education. Scientific knowledge, practices and other family categories*. The Netherlands: Springer.
- FAUQUE D. (2007) BUP n° 989 (2) novembre 2007.
- FAVRE D. et RANCOULE Y. (1993). *Peut-on décontextualiser la démarche scientifique ?* Aster, 16 : 28-46.
- GALILÉE, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* (trad. de René Fréreau avec le concours de François De Gandt), Paris, Le Seuil, 1992.
- GALILÉE, *Écrits coperniciens* (trad. notes et introd. de Philippe Hamou et Marta Spranzi), Le Livre de poche, 2004.
- GALILÉE, *L'Essayeur*, traduction et présentation de Christiane Chauviré, Les Belles Lettres, Paris, 1980.
- GINGRAS, A.-M. (1999). *Médias et démocratie, le grand malentendu*, Sainte-Foy (Québec), Presses de l'Université du Québec.
- GIORDAN, A. et De VECCHI, G. (1987). Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques. Neuchâtel-Paris, Delachaux & Niestlé.
- GIORDAN A., GIRAULT Y. et CLÉMENT P. (1994). *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang.
- GOULD S.J. (1991), *Quand les poules auront des dents*, Paris : Editions du Seuil.
- GOURINAT J.-B. (2002), « *Platon et l'invention de la science* », in *Les Philosophes et la science*, Wagner Pierre (s. la dir. de), Folio essais.
- GROSSLIGHT L., UNGER C., JAY E. and SMITH C. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (1991), pp. 799–822
- GUILBERT L. et 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*, 2, 6-30.
- HANLEY P. BENNETT J. and RATCLIFFE M. (2014) *The Inter-relationship of Science and Religion: A typology of engagement*. *International Journal of Science Education*, 36 (7). pp. 1210–1229.
- HANSON N. R. (1958). *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*, Cambridge University Press, Trad. fr. *Modèles de la découverte*. Une

- enquête sur les fondements conceptuels de la science. Chennevières-sur-Marne, Editions Dianoïa, 2001
- HANSSON L. and REDFORS A. (2003). *Swedish upper-secondary school students' worldviews-taking a starting point in their views of the universe*. 4th ESERA conference.
- HANSSON L. and REDFORS A. (2005). Students' Views of Presuppositions in Physics. A Report from Students' Group Discussions. 5th IHPST conference, Leeds.
- HANSSON L. and REDFORS A. (2007). Physics and the possibility of a religious view of the universe: swedish upper secondary students' views. *Science and Education*, 16, 461–478.
- HODSON D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25 (6), 645–670.
- HODSON D. (2008). *Towards Scientific Literacy: A Teachers' Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science*, Sense Publishers, Rotterdam / Taipei.
- HODSON D. (2009). *Teaching and Learning about science. Language, theories, methods, history, traditions and values*. Rotterdam: Sense Publishers
- HÖTTECKE D. and SILVA, C. C. (2011). Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles. *Science & Education*, 20 (3–4), 293–316.
- HÖTTECKE D., HENKE A. and RIESS F. (2012). Implementing history and philosophy in science teaching: Strategies, methods, results and experiences from the European HIPST project. *Science & Education*, vol. 21, n° 9, p. 1233–1261.
- HULIN N. (1993). *Faire une histoire de l'enseignement scientifique : le cas de la physique en France du xix^e siècle à nos jours*, Didaskalia, 2, « Didactique et histoire des sciences », INRP
- HULIN N. (2000). — Physique et humanités scientifiques. Autour de la réforme de l'enseignement de 1902. Études et documents. — Lille : Presses du Septentrion.
- HULIN N. (2007). *L'enseignement secondaire scientifique en France d'un siècle à l'autre. 1802-1980*. Lyon : INRP.
- HULIN, N. (2007). *L'enseignement secondaire scientifique en France d'un siècle à l'autre. 1802-1980*. Lyon : INRP.
- IRZIK G. and NOLA R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, vol. 20, n° 7–8, p. 591–607.
- JOHSUA S. (1989). *Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire* in Aster, n° 8, Expérimenter, modéliser, Paris, INRP.
- JOUARY J.-P. (1996). *Enseigner la vérité ? Essai sur les sciences et leurs représentations*, Paris : Stock.
- KIMBALL M. E. (1968). Understanding the nature of science: A comparison of scientists and science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 5, 110-120.
- KOYRE A. (1961), *La Révolution astronomique*, Hermann, Paris.
- KOYRE A. (1985). *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Gallimard, coll. « Tel ».
- KOYRE A. (1986). *Études galiléennes*, Hermann, coll. « Histoire de la pensée ».

- KUHN T. S. (1973), *La Révolution copernicienne*, Fayard.
- KUHN T. S. (1983). *La Structure des révolutions scientifiques*, Champs Flammarion. [1^{ère} éd. : 1972]
- KUHN T. S. (1990). *La tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences*. Gallimard.
- LAFOSSE-MARIN M. O. et LAGUES M. (2007). *Dessine-moi un scientifique*. Paris : Belin
- LAROCHELLE M. and DESAUTELS J. (1991). The epistemological turn in science education: the return of the actor. In Duit, R., Goldberg, F. & Niedderer, H. (Eds.) *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*, (155–175). Kiel, ALL: Institute for Science Education.
- LAROCHELLE M. et DÉSAUTELS J. (1992). *Autour de l'idée de science. Itinéraires cognitifs d'étudiants*. Bruxelles : De Boeck.
- LATOUB B. (1981). *Science in Action*. Cambridge. Harvard University Press. (Réed, 1987).
- LEBEAUME J. (2000). *L'éducation technologique*. Issy-les-Moulineaux : ESF éditeur.
- LECOURT D. (2001). *La Philosophie des sciences*. PUF, « *Que sais-je ?* »
- LEDERMAN N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*. 29 (4), 331–360.
- LEDERMAN N. G. (1998). The State of Science Education: Subject Matter Without Context, *The Electronic Journal of Science Education*, 3 (2).
- LEDERMAN N. G. (1999). Teachers' Understanding of the Nature of Science and Classroom Practice: Factors That Facilitate or Impede the Relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (8), 916 - 929.
- LEDERMAN N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (dir), *Handbook of research in science education*, (831–879). New Jersey: Lawrence Erlbaum associates.
- LEDERMAN N. G., and O'MALLEY M. (1990). Students' perceptions of tentativeness in science: Development, use, and sources of change. *Science Education*, 74, 225–239.
- LEDERMAN N. G. and ZEIDLER D. L. (1987). Science teachers' conceptions of the nature of science: Do they really influence teaching behavior? *Science Education*, 71 (5), 721–734.
- LEDERMAN N. G., ABD-EL-KHALICK F., BELL R. L. and SCHWARTZ, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of research in Science Teaching*. 39 (6), 497–521.
- LEDERMAN N. G. and O'Malley M. (1990). Students' perceptions of tentativeness in science: development, use, and sources of change. *Science Education*, 74 (2), 225—239.
- LEDERMAN N. G., WADE P. D., and BELL R. L. (1998). Assessing understanding of the nature of science: A historical perspective. In McComas, W. (Ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* (331–350). The Netherlands: Kluwer Academic.

- LEDERMAN N. G. (2007). Nature of Science: Past, Present and Future. In S.K. Abell & N.G. Lederman (éd.). *Handbook of research on science education*. Londres : Lawrence Erlbaum, p. 831-879.
- LEQUEUX J. (2009). *Le Verrier. Savant magnifique et détesté*. EDP Sciences, L'Observatoire de Paris, Paris.
- LEROUX G. (2002). *République*, Flammarion, GF, Paris.
- LEVY-LEBLOND J.-M. (1980). Éloge des théories fausses. In CNRS-INRP, A. Giordan (Éds.), *Approche des processus de construction des concepts en sciences*, Actes des 2es Journées sur l'éducation scientifique, (pp. 53-62). Paris : CNRS-INRP.
- LEVY-LEBLOND J.-M. (1986). *Mettre la science en culture*. Nice : Éd. Anaïs.
- LEVY-LEBLOND J.M. (1996). *La pierre de touche (la science à l'épreuve)*. Gallimard (Folio-Essais).
- LEVY-LEBLOND J.M. (1996). *Aux contraires — L'exercice de la pensée et la pratique de la science*, Paris : Gallimard.
- LEVY-LEBLOND J.M. (2006). *La vitesse de l'ombre : aux limites de la science*, Seuil.
- LEVY-LEBLOND J.M. (2010). *La science (n') e (s) t (pas) l'art*, Hermann.
- LIJNSE P. (1997). Le développement de programmes dans l'enseignement de la physique. In des Résultats de Recherche en Didactique de la Physique à la Formation des Maîtres Tiberghien *et al.* (Éd.). ICPE. Traduction française.
- LIU S.Y. et TSAI C.C. (2008). Differences in the scientific epistemological views of undergraduate students, *International Journal of Science Education*, vol.30, n°8, p.1055-1073.
- LLOYD G. E. R. (1991). *Methods and Problems in Greek Science*, Cambridge University Press.
- MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND J.-L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP, 226 p.
- MARTINAND J.-L. (1995). Introduction à la modélisation. In J.-L. Martinand & A. Durey (Eds.), *Séminaire de didactique des disciplines technologiques Cachan 1994-1995*, (pp. 7-19). Cachan : Association Tour 123.
- MARTIN-HANSEN L. (2005). First-year college students conflict with religion and the Nature of Science, *8th IHPST conference, Leeds*, <http://www.ihpst2005.leeds.ac.uk>
- MARTINS R A. (2006). Do eter ao vacuo e de volta ao eter. *Scientific American Os — Grandes Erros da Ciencia Especial Historia*, 6, 92–98.
- MATHY P. (1997). *Donner du sens aux cours de sciences*. Paris/Bruxelles : De Boeck.
- MATTHEWS M. R. (1994). *Science teaching. The Role of History and Philosophy of Science*. New York/Londres: Routledge.
- MATTHEWS M. R. (2003). The nature of science in science teaching. In B. J. Fraser & K. Tobin (dir.) *Handbook of science education*, Dordrecht/Boston/Londres: Kluwer, p. 981-1000.

- MATTHEWS M. R. (2012). Changing the focus : from nature of science (NoS) to features of science (FoS). In M.S. Khine (éd.), *Advances in Nature of Science Research*, Dordrecht: Springer, p. 3–26.
- MAURINES L. (2010). L'enseignement des sciences face au fait religieux. Au-delà des savoirs : l'idée de science. In L. Maurines (éd.), *Sciences et religions. Quelles vérités ? Quel dialogue ?* Paris : Vuibert, p. 346-377.
- MAURINES L. et PUGNAUD S. (2007). L'enseignement scientifique et le fait religieux : résultats d'une enquête exploratoire auprès des enseignants de sciences. *Actes des cinquièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*, Montpellier, p. 265-272.
- MAURINES L., BEAUFILS D. et CHAPUIS C., (2009). *Travailler l'image de la nature des sciences et de l'activité scientifique grâce à l'histoire des sciences*. Actes des 6ième rencontres de l'ARDiST.
- MAURINES L. et BEAUFILS D. (2011). Un enjeu de l'histoire des sciences dans l'enseignement : l'image de la nature des sciences et de l'activité scientifique. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, n° 3, p. 271-305.
- MAURINES L., GALLEZOT M., RAMAGE, D. et BEAUFILS D. (2013). *La nature des sciences dans les programmes de seconde de physique-chimie et de sciences de la vie et de la Terre*. Revue en didactique des sciences et des technologies, 7, 19-52.
- MAURINES L., FUCHS-GALLEZOT M. et RAMAGE M.-J. (2015), "Exploring scientific French college freshmen's images of science: which positioning?", dans Laurence Maurines (coord), Exploring the connections between science, culture and citizenship education: which positioning for NoS?, Actes de la dixième conférence internationale de l'ESERA, Helsinki.
- MAURINES L., FUCHS-GALLEZOT M. et RAMAGE M.-J. (2016 a), « Exploring scientific French college freshmen's images of science: which positioning ? », dans J. Lavonen, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto et K. Hahl (éds), E-Book Proceedings of the ESERA 2015 Conference : Science Education Research: Engaging learners for a sustainable future, Part 6 (co-ed. M. Izquierdo et V.-M. Vesterinen), Helsinki, University of Helsinki, p.884-895.
- MAURINES L., FUCHS-GALLEZOT M. et RAMAGE M.-J. (2016b), *Images des pratiques scientifiques d'étudiants entrant en première année d'études scientifiques à l'université Paris-Sud*, 9e rencontres de l'ARDiST, 30 mars au 1er avril, Lens, Présentation des Rencontres
- MAURINES L., FUCHS-GALLEZOT M. et RAMAGE M.-J. (2017), « Images diverses et partielles des sciences renvoyées par les programmes français de physique-chimie et de sciences de la vie et de la Terre du lycée », Carrefours de l'éducation, n° 44 (L'école et les régimes de vérité [s]), p.31-50.
- MAURINES L., FUCHS-GALLEZOT M., et RAMAGE M.-J. (2018). Représentations des étudiants sur les scientifiques et les savoirs scientifiques : exploration des caractéristiques associées et de leurs spécificités. *Revue Recherches en Education*, n° 32.
- MAURY J.P. (2005). *Galilée, le messenger des étoiles*, Gallimard, Paris, 1986, éd. 2005.
- MAURY J.P. (2005). *Newton et la mécanique céleste*, Gallimard, Paris.
- MAURY S. et CAILLOT M. (2003). *Rapport au savoir et didactiques*, Éditions Fabert, Paris.

- MC COMAS W. F. (1998). *The nature of science in science education*. Rationales and strategies. 83–126. Kluwer.
- MC COMAS W. F., ALMAZROA H. and CLOUGH M. P. (1998). *The nature of science in science education: An Introduction*. Science & Education, 7 (6), 511–532.
- MEN (2008). Programmes de Physique Chimie pour la classe de seconde. *Bulletin officiel du ministère de l'Éducation nationale*, numéro spécial n° 6 du 28 août 2008.
- MEN (2010a). Programmes de Physique Chimie pour la classe de seconde. *Bulletin officiel du ministère de l'Éducation nationale*, numéro spécial n° 4 du 29 avril 2010.
- MEN (2010b). Programmes de Physique Chimie pour la classe de première S. *Bulletin officiel du ministère de l'Éducation nationale*, numéro spécial n° 9 du 30 septembre 2010.
- MEN (2011). Programmes de Physique Chimie pour la classe de terminale S. *Bulletin officiel du ministère de l'Éducation nationale*, numéro spécial n° 8 du 13 octobre 2011.
- MERILL R. and BUTTS D. (1969) Vitalizing the role of the teacher. In D. Butts (ed.) *Designs for Progress in Science Education* (Washington, DC : National Science Teachers Association, pp. 35-42)
- MILLAR R. et OSBORNE J. (dir.) (1998). *Beyond 2000: Science education for the future* London: King's College.
- MILLER P, SLAWINSKY-BLESSING J., SCHWARTZ S. (2006) *Gender's differences in high-school student's views about science*, Int J. of Sci. Educ. Vol. 28 n° 4, pp. 363–381
- MINNER D., LEVY A. and CENTURY J. (2009). Inquiry-based science instruction—what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 47, n° 4, p. 474–496.
- MOATTI A. (2013). *Alterscience—Postures, dogmes, idéologies*, Odile Jacob.
- MONOD-ANSALDI R. et PRIEUR M. (2011), Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie, Rapport d'enquête, Lyon, IFÉ - ENS de Lyon.
- MOREAU J. (1962). *Aristote et son école*, PUF.
- MORGE L. § BOILEVIN J.M. (2007). *Séquences d'investigation en physique-chimie, au collège et au lycée*. CRDP Auvergne, Clermont-Ferrand.
- MOSS D. M., ABRAMS E. D. and ROBB J. (2001). Examining student conceptions of the nature of science. *International Journal of Science Education*, vol.23, no.8, 771-790.
- NADEAU R. et DESAUTELS J. (1984) *Épistémologie et didactique des sciences*. Ottawa : Conseil des sciences du Canada.
- NATIONAL COMMITTEE ON SCIENCE EDUCATION STANDARDS AND ASSESSMENT; NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *National Science Education Standards* (1996). National Academic Press. p. 961–999.
- NARCY M. (1994). *Théétète*, Flammarion, GF, Paris.
- NIELSEN M. (2012). *Reinventing discovery*, Princeton University Press.
- ORANGE C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*, PUF.

- OSBORNE J., SIMON S. and COLLINS, S. (2003). Attitudes toward science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25 (9), 1049–1079.
- PÉLISSIER L. (2011). Études des pratiques d'enseignement des savoirs de l'épistémologie de la physique en classe de lycée général. Thèse de doctorat. Toulouse : université de Toulouse.
- PÉLISSIER L. et VENTURINI P. (2012). Qu'attendre de la démarche en matière de transmission de savoirs épistémologiques ? In B. Calmettes (éd.), *Didactique des sciences et démarches d'investigation. Références, représentations, pratiques et formation*, Paris : L'Harmattan, p. 127-152.
- PELISSIER, L. et VENTURINI, P. (2016). Analyse praxéologique de l'enseignement de l'épistémologie de la physique : le cas de la notion de modèle. *Education & didactique*, vol. 10, (2), 63-90.
- PELLEGRIN P. (2000). *Physique*, Flammarion, GF, Paris.
- PESTRE D. (2006). *Introduction aux sciences studies*. Paris : La Découverte.
- PISA 2006, OCDE (2007). Les compétences en sciences, un atout pour réussir. Volume 1 — Analyse des résultats. Paris, les éditions de l'OCDE
- PISA 2015 Informations sur l'étude — Ministère de l'Éducation
- POINCARÉ H. (1902), *La Science et l'Hypothèse*, Ernest Flammarion, coll. « *Bibliothèque de philosophie scientifique* », Paris.
- POMEROY D. (1993). Implications of teachers' beliefs about the nature of science: comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education*, 77(3), 261-278.
- POPPER K. (1973). *La logique de la découverte scientifique*. Payot.
- RACHED E. (2018). *Les modes de raisonnement informel des élèves de lycée lors de prises de décision en classe sur une question socio-scientifique*, *Recherches en Education*, p. 32-50.
- RAMSEY G. A. and HOWE R. W. (1969) An analysis of research on instructional procedures in secondary school science: Part II. *The Science Teacher*, 36 (4), 72-81.
- REIS P. and GALVAO C. (2007). *Reflecting on Scientists' Activity Based on Science Fiction Stories Written by Secondary Students*. *International Journal of Science Education*, 29 (10), 1245–1260.
- ROBARDET G. (1995). *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*. Thèse de doctorat, Grenoble: université Grenoble 1-Joseph Fourier, LIDSE.
- ROBARDET G. et GUILLAUD J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : Presses universitaires de France.
- ROCARD M., CSERMELY P., JORDE D., LENZEN D., WALBERG-HENRIKSSON H. et HEMMO V. (2007). *L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe*. Commission Européenne, Direction de la Recherche.
- ROLETTO E. (1995). *La nature du savoir scientifique chez les enseignants*. Thèse de doctorat, Montpellier : université Montpellier 2.

- ROLETTO E. (1998). *La science et les connaissances scientifiques : point de vue de futurs enseignants*, Aster 26, 11-30.
- ROLETTO E., CROS D. et LEFRANC B. (1995). « *La nature de la science : conceptions d'enseignants et de futurs enseignants.* », *Que savons-nous des savoirs scientifiques et techniques*, actes des XVIIe journées de Chamonix, 27-31 mars 1995, p. 41.
- ROVELLI C. (2009). *Anaximandre de Milet, ou la naissance de la pensée scientifique*, Dunod.
- RUBBA P. A. et ANDERSON H. O. (1978). Development of an instrument to assess secondary school students' understanding of the nature of scientific knowledge. *Science Education*, 62(4), 449–458.
- RYAN A. G. (1987). High school graduates' beliefs about science —technology society. IV. The characteristics of scientists. *Science Education* 71(4), 489-510.
- SALTIEL E. (1978) *Concepts cinématographiques et raisonnements naturels : études de la compréhension des changements référentiels galiléens par les étudiants en science*. Thèse d'état. Paris VII.
- SANDOVAL, W. A. (2005). Understanding Students' Practical Epistemologies and Their Influence on Learning Through Inquiry. *Science Education*, 89 (4), 634–656.
- SCHIEBINGER L. (1999). *Has feminism changed science?*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- SCHIPMAN H. § BRICKOUSE N. § DAGHER Z. § LETTS IV W. (2002). *Changes in Student Views of Religion and Science in a College Astronomy Course*. *Science Education*. 86, 526–547.
- SCHMIDT DJ. (1967). Test on understanding science: a comparison among school groups. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 4, pp. 365-366.
- SCHWARTZ, R. S., LEDERMAN, N. G. (2002). *It's the nature of the beast: The influence of knowledge and intentions on learning and teaching nature of science*. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (3), 205–236
- SCHWARTZ R. S., LEDERMAN N. G. and LEDERMAN J.S. (2008). An instrument to assess views of scientific inquiry: the VOSI questionnaire. *Communication au colloque NARST, 30 mars — 2 avril 2008*, Baltimore.
- SÉRÉ M.-G., FERNANDEZ-GONZALEZ M., GALLEGOS J. A., GONZALEZ-GARCIA F., DE MANUEL E., PERALES F. J., and LEACH J. (2001). Images of science linked to labwork: A survey of secondary school and university students. *Research in Science Education*, 31, 499–523.
- SHORTLAND, M. (1988). *Advocating science: Literacy and public understanding. Impact of Science on Society*, 38 (4), 305–316.
- SIMAAN A. et FONTAINE J. (1999). *L'image du monde des Babyloniens à Newton*, adpat.
- SIMONNEAUX L. et ALBE V. (2008). Types et domaines d'arguments utilisés dans des débats socio-scientifiques. In C. Buty et C. Plantin (2008). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. INRP.
- SLAÏMIA, M., et MAURINES, L. (2012). L'image des sciences au travers de l'histoire de la dioptrique dans l'enseignement secondaire tunisien : conceptions d'élèves de seconde

- après une séance innovante. Actes des septièmes rencontres de l'ARDiST (pp. 413–424). Bordeaux : ARDiST.
- SLAÏMIA, M. (2014). L'image de l'activité scientifique au travers de l'histoire de la dioptrique : élaboration et expérimentation d'une séquence d'enseignement pour la classe de seconde ; rapport des enseignants tunisiens à l'enseignement des sciences et à l'innovation. Doctoral thesis, France, Université Paris-Sud.
- SMITH C. L., MACLIN D., HOUGHTON C., and HENNESSEY M. G. (2000). Sixth-Grade Students' Epistemologies of Science: The Impact of School Science Experiences on Epistemological Development. *Cognition and Instruction*, 18 (3), 349–422.
- SMITH M. U., and SCHARMANN L. C. (1999). Defining versus describing the nature of science: A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators. *Science Education*, 83, 493–509.
- SOLER L. (2009). Introduction à l'épistémologie, Paris, Ellipses.
- TAO P. K. (2003). Eliciting and developing junior secondary students' understanding of the nature of science through a peer collaboration instruction in science stories. *Int J Science & Education* 25(2), 147– 171.
- THEOBALD C., SAUGIER B., LEROY J., LE MAIRE M. et GRÉSILLON D. (2006). L'Univers n'est pas sourd : Pour un nouveau rapport sciences et foi Paris Bayard
- THOMAS G., and DURANT J. (1987). Why should we promote the public understanding of science? In M. Shortland (Eds.), scientific literacy papers (1–14). Oxford, UK: Department for External Studies, University of Oxford.
- TIBERGHIEU A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instructions*, 4, 71–87.
- TOULMIN S. E. 1993 [1958]. Les usages de l'argumentation, Paris, P.U.F.
- TOULMIN S. E. (1973). L'explication scientifique. Armand Colin.
- TREAGUST D., CHITTLEBOROUGH G. and MAMIALA T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning *International Journal of Science Education*, 24 (4), pp. 357–368.
- TRICOT J. (1953). *Métaphysique*, éd. Vrin, Paris.
- VENTURINI P. (2004). Note de synthèse : Attitudes des élèves envers les sciences : le point de recherches. *Revue française de pédagogie*, 149, p. 97-121.
- VERDET J.-P. (1998). Histoire de l'astronomie ancienne et classique, PUF, « *Que sais-je* », 1998.
- VERNANT J.-P. (1962). Les Origines de la pensée grecque, PUF, 1962, 4^e éd. 1981.
- VIENNOT L. (1977). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Thèse d'état, Université Paris VII.
- VIENNOT L. (1996). *Raisonnement en physique, la part du sens commun*, De Boeck-Westmael, Bruxelles.
- VOLLMANN W. T. (2007). *Décentrer la Terre : Copernic et les révolutions célestes*, Tristram.
- WALBERG H. J. (1983). Scientific literacy and economic productivity in international perspective. *Daedalus*, 112 (2), 1–28.

WHITAKER M. A. B. (1979). History and quasi-history in physics education—part 1. *Physics Education*, 14, 108—112.

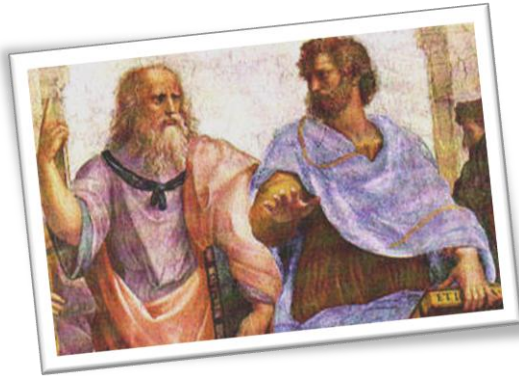
WITTGENSTEIN L. (1958). *Philosophical Investigations*, Hoboken, Blackwell, Traduction française par Françoise Dastur et al., *Recherches philosophiques*, Paris, Gallimard, 2005.

YALAKI Y. and CAKMAKCI G. (2010). A conversation with Michael R. Matthews: The contribution of history and philosophy of science to science teaching and research, *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 6 (4).

Table des annexes

<i>Annexe 1 : Les textes historiques</i>	<i>317</i>
<i>Annexe 2 : Les réponses au questionnaire n°1</i>	<i>326</i>
<i>Annexe 3 : Les réponses au questionnaire n°2</i>	<i>344</i>
<i>Annexe 3 : Les réponses au questionnaire n°3</i>	<i>362</i>

Annexe 1 : Les textes historiques



Aristote (384-322 av. J.-C.)

Aristote est un penseur qui a vécu au IV^e siècle avant Jésus-Christ. Il s'appuie sur les idées de l'un de ses prédécesseurs, Platon.

Selon Platon, le monde doit, en raison de sa perfection liée à son origine divine, avoir une forme sphérique, et le mouvement de tout corps céleste doit être circulaire et uniforme : *« Celui qui constitua le monde [...] lui donna comme figure celle qui lui convenait et qui lui était apparentée. Au vivant qui doit envelopper en lui-même tous les vivants, la figure qui pouvait convenir, c'était celle où s'inscrivent toutes les autres figures. Aussi est-ce la figure d'une sphère, dont le centre est équidistant de tous les points de la périphérie, une figure circulaire, qu'il lui donna comme s'il travaillait sur un tour — figure qui entre toutes est la plus parfaite et la plus semblable à elle-même — convaincu qu'il y a mille fois plus de beauté dans le semblable que dans le dissemblable. »* (Platon, *Timée*, 33b)

Dans le système cosmologique d'Aristote, la Terre est immobile au centre du monde et entourée d'une succession de sphères cristallines. L'Univers est constitué de huit sphères concentriques qui tournent autour de la Terre fixe indépendamment l'une de l'autre. La plus grande porte les étoiles fixes et les autres les sept astres connus (Soleil, Lune, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne). La voûte étoilée est mue par un premier moteur (Dieu) qui lui imprime un mouvement de 24 heures autour de la Terre. Quant aux mouvements des astres, ce sont d'autres êtres immatériels qui en sont à l'origine. Seuls quelques penseurs ont soutenu l'héliocentrisme dans l'Antiquité, dont le fameux Aristarque de Samos (v. 310-230 av. J.-C.).

Aristote introduit aussi une idée qui va être acceptée jusqu'au XVI^e siècle : la distinction entre la Terre et les cieux. Pour lui, tout ce qui est situé à l'intérieur de l'orbite lunaire, la Terre et son atmosphère, est le lieu de l'imperfection et du changement, on y rencontre tout type de mouvements (rectiligne, curviligne...) Alors qu'au-delà de la Lune, se trouve le ciel, lieu de perfection et sans changement. Dans le monde supralunaire, tout tourne uniquement d'un mouvement circulaire uniforme. Dans le monde sublunaire, le mouvement « naturel » de tout objet terrestre est rectiligne et dirigé vers le centre de la Terre, qui constitue le centre immobile de l'Univers.

L'œuvre d'Aristote ne constitue pas une innovation majeure au sein des idées cosmologiques. Dans la lignée de Platon, Aristote instaure le géocentrisme en dogme dont il justifie, tout au long du Traité du ciel, la vérité par des arguments tirés de sa propre physique. Comprenons que la cohérence de l'ensemble de la cosmologie aristotélicienne ne tient qu'à la compréhension adéquate des principes reçus en sa physique. Ainsi Aristote estime suffisant l'argument de la chute des corps vers le centre du monde pour affirmer que la terre est elle-même au centre du monde. [...]

L'importance d'Aristote ne tient donc pas, pour l'histoire de la cosmologie, dans la précision qu'il introduit au sein de l'observation des astres. Cette importance tient surtout à la mise en ordre radicale dont les objets sont tout à la fois la physique et la cosmologie qui lui est associée. Contrairement à Copernic, dont l'astronomie s'instaure en l'absence d'une science générale du mouvement, Aristote fait immédiatement école dans la mesure où il propose une grille de lecture de la science qui traite de la nature en général.

CHAREIX F., *La Révolution galiléenne : cosmos et univers*, Ellipses, 2001



Ptolémée (v. 100 — v. 170)

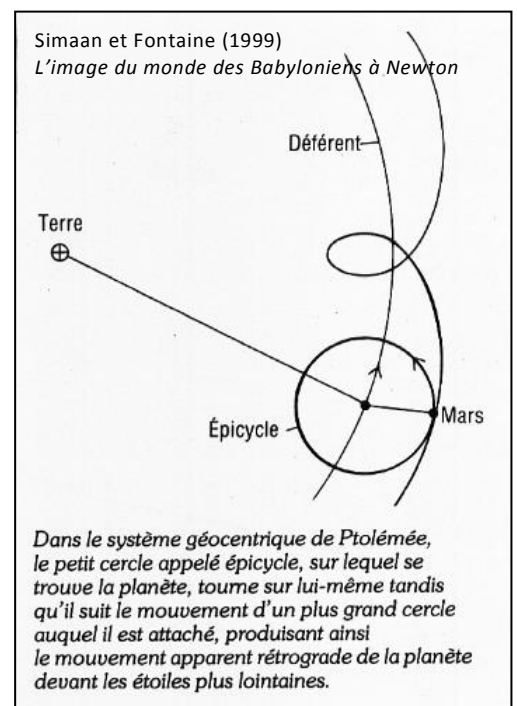
Claude Ptolémée est un mathématicien et astronome grec. Très peu de choses sont connues de sa vie, sauf ses observations astronomiques de 127 à 141 à Alexandrie.

Le principal défaut du système d'Aristote est son incapacité à expliquer les variations de taille des planètes vues depuis la Terre. Pour cette raison, Ptolémée modifie ce système en introduisant la notion d'épicycle, mais sans remettre en question les fondements posés par Aristote et Platon. Il développe le modèle proposé par Eudoxe dans lequel les irrégularités des mouvements observés sont expliquées par une combinaison de mouvements réguliers.

Pour Ptolémée, la Terre est fixe et au centre de l'Univers. Le Soleil, la Lune et les planètes se déplacent autour de la Terre dans l'ordre suivant : la Lune, Mercure, Vénus, le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne. Les corps célestes ne sont pas liés à des sphères solides et transparentes dont le centre est la Terre.

En fait, chacun d'eux se déplace sur un petit cercle, nommé épicycle. Le centre de l'épicycle se déplace sur une sphère cristalline en suivant un grand cercle centré sur la Terre, nommé déférent. L'association des mouvements circulaires uniformes des astres est ainsi conforme aux mouvements constatés depuis la Terre. En adaptant la position et la taille de l'ensemble des cercles, Ptolémée obtient un système capable de reproduire avec précision les mouvements des corps célestes vus depuis la Terre. Il est, de plus, en mesure d'expliquer les variations de taille et d'éclat des planètes, puisque désormais leur distance varie par rapport à la Terre.

Derrière cette harmonieuse complexité, il faut bien saisir que Ptolémée ne construit qu'un modèle géométrique qui vise à rendre compte des observations conformément aux principes de la métaphysique aristotélicienne et non à livrer une explication réaliste des phénomènes célestes tels qu'ils existent. Le système de Ptolémée a été largement utilisé et étudié jusqu'à Copernic. Pour affiner sa précision, les astrologues⁵⁰ ont amélioré le modèle en lui rajoutant constamment des épicycles. Une seule planète pouvait ainsi avoir quelquefois une vingtaine d'épicycles. Le système de Ptolémée est un double succès d'efficacité et de simplicité, car l'explication est purement géométrique et est fondée sur un seul concept. Il perfectionne le système d'Aristote, dans la forme, mais pas sur le fond, ce qui explique qu'il fut admis jusqu'au XVI^e siècle.



⁵⁰ Du grec *logos*, « raison ». Ce sont les ancêtres des astronomes.



Copernic (1473-1543)

Nicolas Copernic est un chanoine de la cathédrale de Frauenburg en Pologne. Il étudie le droit en Italie et s'intéresse particulièrement à l'astronomie.

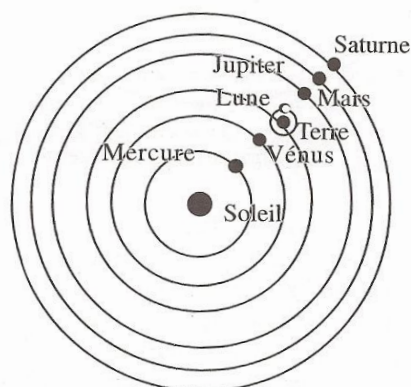
Ses travaux sont publiés l'année de sa mort dans un livre intitulé *Des révolutions des orbés célestes*. Il y présente ses arguments en faveur de l'héliocentrisme, qui fait du Soleil l'astre autour duquel tournent les planètes.

Copernic a étudié la théorie géocentrique proposée par Ptolémée et acceptée depuis plus de mille ans par les astronomes. Mais Copernic n'adhère pas à la théorie géocentrique, qui fait de la Terre le centre de l'Univers. Il connaît la théorie héliocentrique d'un philosophe grec, Aristarque de Samos (v. 310-230 av. J.-C.), qui suggère que le mouvement des astres peut s'expliquer par un modèle dans lequel le Soleil est au centre de l'Univers. Copernic, malgré ses croyances, met en œuvre cette théorie pour interpréter le mouvement des planètes, en particulier celui de la Terre, car il est influencé par les écrits platoniciens qui insistent sur la haute dignité du Soleil, comme dans la célèbre allégorie de la caverne.

Bien que l'idée même d'une Terre en mouvement s'oppose à l'explication d'Aristote, Copernic admet encore le fait que les astres décrivent des cercles parfaits. Ainsi, selon lui, les planètes tournent autour du Soleil selon un mouvement circulaire uniforme.

Sa théorie est plus simple que celle de Ptolémée, parce qu'elle fait intervenir moins d'épicycles ; cependant, elle n'est pas plus précise que celle-ci. Mais, tout comme le système de Tycho Brahé, elle permet de prédire l'existence des phases de Vénus. La découverte de ce phénomène 50 ans après la mort de Copernic va attribuer à sa théorie un certain pouvoir explicatif. La théorie héliocentrique soulève cependant quelques objections : si la Terre se mouvait, l'on devrait ressentir son mouvement et les corps qui sont à sa surface devraient être jetés dans l'espace.

Malgré la prudence de la préface, écrite par l'éditeur Andreas Osiander qui précise que « *le système héliocentrique est un simple modèle mathématique permettant d'améliorer les calculs* », l'ouvrage de Copernic connaîtra des difficultés avec les autorités religieuses lorsque Galilée en reprendra la thèse centrale au siècle suivant. En 1616, l'Église déclare la théorie héliocentrique incompatible avec les Saintes Écritures.



Le modèle héliocentrique du système solaire de Copernic (Chareix, 2001)



Brahé (1546-1601)

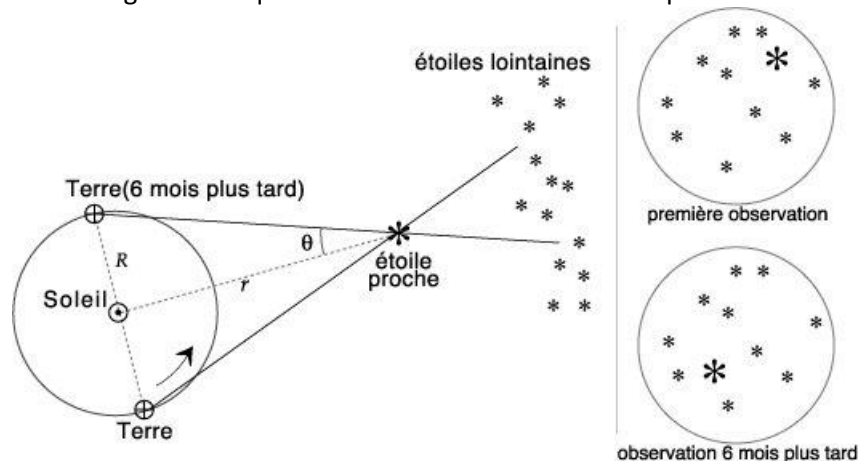
Tycho Brahé est un astronome danois, très réputé à l'époque pour la précision et la qualité de ses observations.

En observant une **supernova**⁵¹ en 1572, Brahé montre pour la première fois que les objets de la sphère des étoiles peuvent subir des modifications. Il remet ainsi en cause la doctrine aristotélicienne de l'**immutabilité**⁵² des sphères célestes, car la nature cristalline des sphères ne résisterait pas au passage d'une comète. Convaincu de la fausseté du modèle planétaire ptoléméen, Brahé n'accepte pas pour autant l'idée d'un mouvement de la Terre, autant pour des raisons philosophiques qu'à cause de son incapacité, malgré plusieurs tentatives, à détecter toute **parallaxe** (voir schéma ci-dessous) annuelle des étoiles fixes telle que le modèle de Copernic le prévoyait.

Il présente donc une forme de conciliation entre le système de Copernic et celui de Ptolémée qui semblera à l'époque plus conforme aux Écritures Saintes. Dans son modèle, le Soleil et la Lune tournent autour de la Terre, et les planètes connues à l'époque (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne) gravitent autour du Soleil. Ce système est aussi appelé géo-héliocentrisme. En matière de déglacements planétaires vus de la Terre, ce modèle prévoit les mêmes mouvements apparents que le modèle copernicien, sans que les étoiles fixes présentent de parallaxe. Sa particularité tient aussi au fait qu'il attache autant d'importance, voire plus, aux observations qu'aux théories philosophiques.

Sa réputation lui valut le soutien du roi Frédéric II du Danemark. En 1576, celui-ci lui fit construire un observatoire à Uraniborg doté d'instruments, sans verre, destinés à viser avec précision et à mesurer les angles. Il effectua alors pendant vingt ans des observations portant sur des positions précises d'étoiles, ainsi que sur le suivi régulier des déplacements des planètes, de la Lune et du Soleil. À la fin de sa vie, il légua à son élève Johannes Kepler de précieux cahiers très riches en observations.

La **parallaxe** d'un point est l'angle sous lequel on voit la distance entre deux points de référence depuis ce point.



Source : Observatoire de Paris

⁵¹ Une supernova est une étoile massive qui explose à la fin de sa vie.

⁵² Caractère de ce qui est immuable. Constant.



Kepler (1571-1630)

Johannes Kepler est un astronome et professeur de mathématiques d'origine allemande. Il fut poursuivi tant pour ses idées que pour sa religion protestante. Vers 1600, il se réfugia à Prague où il fut l'assistant puis le successeur du Danois Tycho Brahé.

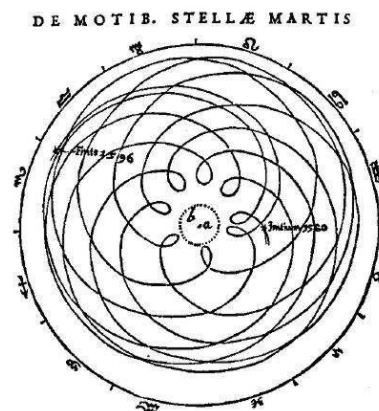
Kepler utilise les résultats des observations de Tycho Brahé pour tester la théorie de Copernic, suivant laquelle les planètes tournent autour du Soleil selon un mouvement circulaire uniforme. Mais une différence minime de huit minutes d'angle⁵³ entre la position de Mars calculée selon le modèle copernicien et celle issue des observations de Tycho Brahé lui fait rejeter son modèle.

Influencé par la tradition pythagoricienne, qui voit, dans la géométrie, la clé de l'harmonie cosmique, Kepler révisé le modèle de Copernic en proposant que les planètes (y compris la Terre) se déplacent autour du Soleil selon une orbite elliptique. À partir des tables de Brahé, il avance deux premières lois en 1609 qui portent depuis son nom⁵⁴ :

1. *Les orbites des planètes sont des ellipses dont le centre du Soleil occupe l'un des foyers.*
2. *Les aires décrites autour de ce centre par les rayons vecteurs des planètes sont proportionnelles aux temps employés à les décrire.*

Publiée seulement en 1619 dans son œuvre intitulée *Harmonies du monde*, la 3^e loi postule que les carrés des périodes de révolution sidérale des planètes sont proportionnels aux cubes des grands axes de leurs orbites.

La théorie héliocentrique proposée par Kepler permet maintenant de faire des prévisions plus précises des mouvements des astres. Elle ne résout cependant pas le problème de l'origine du mouvement de la Terre. Kepler et Copernic ne livrent pas une vision fondamentalement différente de l'Univers, car celui-ci est toujours divisé en deux mondes. Les lois de l'Univers semblent encore de nature quasi mystique et cette nouvelle harmonie est interprétée comme un signe de la perfection divine, même si Kepler, avec la théorie de l'attraction⁵⁵, propose un nouveau principe physique d'unification de la Terre et du ciel.

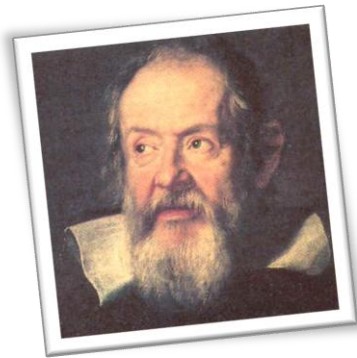


La rétrogradation de Mars selon Kepler (Wikimedia Commons).

⁵³ 1 minute d'angle = 1/60 de degré.

⁵⁴ Réécrites par Laplace en 1796.

⁵⁵ Qui sera formalisée par la suite par Newton. Kepler ne réalise pas une véritable unification, car il ne fait pas un lien d'unification entre le Soleil et les planètes. Le Soleil envoie une sorte d'onde qui fait mouvoir les planètes.



Galilée (1564-1642)

Galilée est né à Pise en 1564. Il a étudié la médecine et les mathématiques, et fut professeur de mathématiques à l'université de Pise et de Padoue en 1592.

Galilée bénéficie des progrès dans le domaine de l'optique. La lunette astronomique est inventée à la fin du XVI^e siècle probablement en Hollande. Galilée s'informe puis expérimente lui-même pour améliorer le procédé et construire la première lunette astronomique, dotée d'un grossissement de 20. Il pense en effet que la lunette est le meilleur moyen pour observer le ciel afin de justifier le système héliocentrique de Copernic. Les 7, 8 et 10 janvier 1610, il découvre que Jupiter a des satellites semblables à la Lune et démontre que tous les objets célestes de l'Univers ne tournent donc pas autour de la Terre.

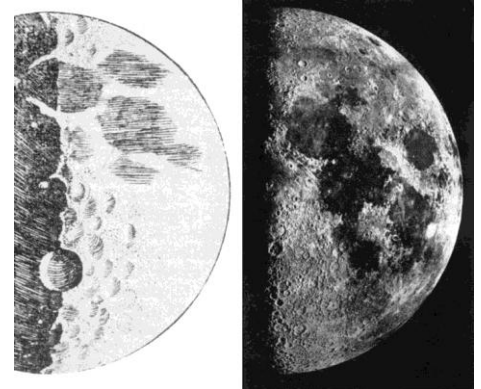
Alors que la Lune était imaginée comme une grande sphère parfaite, rigide et polie, Galilée, après l'avoir observée, anéantit cette image en représentant de multiples cratères et une surface parfaitement irrégulière, comparable à ce que l'on voit sur Terre. En 1610, Galilée publie *Le Messager des étoiles Sidereus Nuncius*, le recueil de ses observations de la Lune et de Jupiter effectuées entre 1609 et 1610. Il observe également que Vénus a des phases, comme la Lune. Cette planète doit donc être en rotation autour du Soleil et non de la Terre, car il est impossible de les expliquer avec le système géocentrique de Ptolémée. Les résultats de ces observations commencent donc à mettre en péril l'ancien système cosmologique, tout en validant le système copernicien.

Le modèle héliocentrique dans lequel les planètes décrivent des ellipses est plus précis que celui où les planètes décrivent des cercles. Ce modèle est aussi plus simple que celui de Ptolémée et il a un plus grand pouvoir explicatif. Il s'impose définitivement avec Newton, car, à partir de lui, on peut déduire les lois képlériennes en partant du principe de l'attraction régissant le système des planètes (en supposant qu'elles tournent autour du Soleil). La « preuve » expérimentale du mouvement de la Terre date de 1838 et de l'observation de la parallaxe par Bessel. On peut remonter à 1727 pour trouver une première preuve de cette théorie dans le phénomène d'aberration de la lumière mis en évidence par Bradley.

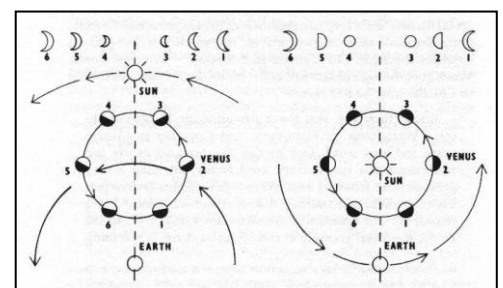
Parallèlement à ses observations astronomiques, Galilée cherche à unifier les explications des mouvements terrestres et célestes. Il produit alors une mathématisation de la chute des corps. Galilée a répondu aux objections traditionnelles contre le mouvement de la Terre dans le *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* de 1632. En 1633, Galilée, malgré sa foi, dut abjurer le système copernicien. Mais, contrairement à l'opinion commune, la condamnation de Galilée dépasse très largement la question de l'héliocentrisme, qui pouvait être utilisé à titre d'hypothèse par les scientifiques de l'époque, comme le souligne un décret de l'Église du 5 mars 1616.

À gauche, dessin de la Lune par Galilée publié dans *Le Messager des étoiles* en 1610.

À droite, une photographie de la Lune. Ptolémée et Aristote affirmaient que la Lune était lisse, ce qu'enseignait l'Église.



Les observations précises des phases de Vénus par Galilée prouvèrent que Copernic avait raison.



Singh, *Le roman du big bang* (2007)



Newton (1642-1727)

Isaac Newton est un mathématicien, physicien, astronome et philosophe anglais.

Galilée savait qu'il n'avait pas démontré complètement le système héliocentrique. Mais il était persuadé que son argumentation montrait clairement que le système de Ptolémée était faux, à cause de ses contradictions internes. La condamnation par l'Église catholique du *Dialogue...* et des ouvrages enseignant le système de Copernic oblige les savants à étayer leurs théories par de meilleures observations ou vérifications.

Dès 1664, Newton réfléchit sur le *Dialogue...* de Galilée et sur les travaux de Kepler. Pour Galilée, comme pour Ptolémée et Aristote, la cause du mouvement des planètes, c'est Dieu qui leur a donné au départ un mouvement circulaire et uniforme. Ce mouvement est éternel. Avec le mouvement elliptique et irrégulier, Kepler est amené à réfléchir à la cause de ce mouvement. Il imagine des « forces » émanant du Soleil. C'est une première ouverture au modèle de Newton.

En 1684 et pendant deux ans, Newton rédige les deux premiers volumes de son ouvrage *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*⁵⁶, posant à la fois les bases de la mécanique terrestre et de la mécanique céleste. L'idée fondamentale est qu'une seule loi gouverne les mouvements de tous les corps de l'Univers. Elle peut être énoncée ainsi : « Deux corps massifs s'attirent en raison directe de leur masse et en raison inverse du carré de leur distance⁵⁷. » De cette idée et de sa formulation mathématique (voir encadré) découle la description de l'Univers de Newton : la forme elliptique de la trajectoire des planètes est une conséquence de l'attraction gravitationnelle du Soleil. De même, les satellites naturels sont soumis à la force de gravitation exercée par les planètes, par exemple la Lune autour de la Terre, les quatre satellites de Jupiter ou encore les cinq premiers satellites de Saturne⁵⁸.

Cette loi de l'attraction universelle permet donc d'expliquer tout à la fois les lois astronomiques de Kepler et les lois sur la chute des corps de Galilée. Newton parvient finalement en 1687 à élaborer la première théorie de la gravitation. Ainsi, il enterre définitivement la distinction aristotélicienne entre ciel et terre, et permet d'éliminer tout doute au sujet de la théorie héliocentrique tout en conservant une place centrale pour Dieu qui est l'élément moteur de tout le système.

Loi de l'interaction gravitationnelle

Deux corps A et B de masses respectives m_A et m_B séparés d'une distance d exercent l'un sur l'autre des forces de même direction, de sens contraire, telles que : $F_{A/B} = F_{B/A} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$ $F_{A/B} = F_{B/A} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$,

où G est la constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

⁵⁶ La physique s'appelle encore à l'époque philosophie naturelle.

⁵⁷ *L'Homme et le Cosmos*, p. 121.

⁵⁸ Inconnus de Galilée. Huygens découvre Titan en 1655. Cassini découvre Japet et Rhéa en 1673, et Téthys et Dioné en 1686.

De Neptune à Vulcain : une question de confiance ?

Au début du XIX^{ème} siècle, seules 7 planètes étaient connues, et les scientifiques parvenaient à calculer leur trajectoire grâce à la loi de la gravitation universelle formulée par Newton. Or, il se trouve que l'orbite d'Uranus ne correspondait pas aux calculs effectués. Fallait-il rejeter pour autant la théorie de Newton ? L'astronome français Le Verrier fait plutôt l'hypothèse de l'existence d'une autre planète, au-delà d'Uranus. Il calcule sa masse et sa trajectoire pour rendre compte des perturbations observées de l'orbite d'Uranus par rapport aux calculs. En 1846 en Allemagne, le physicien Galle dirige son télescope vers la position prédite par Le Verrier et il fait effectivement la découverte d'une nouvelle planète confirmant cette hypothèse mathématique et sauvant du même coup la théorie de Newton.

Plus tard en 1870, l'observation de l'orbite de Mercure, la planète la plus proche du soleil, présente de la même manière qu'Uranus des anomalies avec la mécanique de Newton. Motivés par le succès de la découverte de Neptune, certains scientifiques postulèrent l'existence d'une nouvelle planète, baptisée Vulcain, qui expliquerait le décalage de la planète par rapport au Soleil. Or cela ne fonctionnera pas, cette planète n'a jamais été observée dans la région du ciel calculée. Pour expliquer ces contradictions, les scientifiques postulèrent de nombreuses autres hypothèses auxiliaires, comme par exemple la présence d'une ceinture d'astéroïdes près du soleil, mais sans résultat.

Il a fallu attendre la relativité générale d'Einstein pour donner une explication basée sur des effets relativistes. Finalement, il s'avèrera que les lois de Newton sont bien exactes quand la gravité est faible, mais pas assez pour Mercure qui est trop proche du Soleil.



Planètes et planètes naines du Système solaire – (Wikimedia Commons)

Annexe 2 : Les réponses au questionnaire n°1

1. Selon vous, quels arguments ont été avancés par les scientifiques au XVI^e XVII^e siècle en faveur de l'héliocentrisme ?

2.1. Est-ce que d'après vous un bon physicien est quelqu'un qui observe d'abord ? Oui Non Pourquoi

2.2. Deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ? Oui Non Pourquoi

3. Lorsqu'une explication est mise en défaut par une observation est-elle abandonnée par les physiciens ? Oui Non Pourquoi

4. Quand deux explications permettent de rendre compte du même phénomène, que font les physiciens ?

5. Peut-on être scientifique et croyant ? Oui Non Pourquoi

1. Selon vous, quels arguments ont été avancés par les scientifiques au XVIe-XVIIe siècle en faveur de l'héliocentrisme ?

Elève	Réponse	Eléments de réponse = nb (0, P, R)	Articulation empirie-théorie	Dimensions de la NoS
Julien	<i>Bonne question, je ne sais pas, peut être éclipse ou la nuit</i>	P	empirie	Objets d'étude (<i>éclipse ou la nuit</i>) types : phénomène
Nacer	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Richard	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Mary	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Mathieu	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Lucile	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Emeric	<i>Le schéma de déplacement du Soleil gravitant autour de la Terre</i>	P	empirie	Objets d'étude — Types : phénomène ou connaissance
Mélissa	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Benjamin	<i>Le phénomène des saisons (inclinaison de l'axe terrestre) l'observation des autres planètes (recul de Mars)</i>	R	Empirie-théorie Pas de lien ?	Objets d'étude (<i>Le phénomène des saisons ; l'observation des autres planètes (recul de Mars)</i>) Permet de faire apparaître les deux aspects théorie et empirie. Types d'objets (+intellectuelles) phénomène (+ (connaissance))
Marine	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Rudy	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Yasser	<i>Loi de Kepler</i>	P	théorie	produit et Objets d'étude intellectuel : loi
Matthieu		0		
Manon	<i>Les scientifiques ont expliqué le phénomène de l'ellipse</i>	P	théorie	Objets d'étude + Visées types d'objets (+ types problème) expliquer Théorie (fonctionnel) (<i>l'ellipse</i>)
Clément		0		
Quentin	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Fanny	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Jérémy	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Charles	<i>Grâce à l'avancé technologique</i>	P	?	Ressources matérielles
Gersende	<i>Le Soleil est un astre ; toute les autres planètes ainsi que la Terre n'est pas logique qu'elles tournent autour de la Terre. Elles tournent alors autour du « seul » astre.</i>	R	Empirie-théorie	Objets d'étude + produit + Visées (présupposé : logique : toutes les planètes se comportent de la même façon, tournent autour de la planète) types d'objet + intellectuel phénomène + connaissance
Antoine	<i>L'étude du mouvement des planètes</i>	P	empirie	Objets d'étude types (+ problème) : Phénomène (+ fonctionnel)
Nolwenn	<i>Je ne sais pas</i>	0		

Pierre-Louis	<i>La religion, la Terre n'aurait pu être placée par Dieu, ailleurs qu'au centre. Diverses observations, mais approximatives et réalisées avec du mauvais matériel semblaient aller dans ce sens</i>	R	Empirie-théorie	Objets d'étude (types d'objet phénomène) + Visée et Société (registre religieux et scientifique non dissocié) Ressources : types de ressources + ressources matérielles (<i>avec du mauvais matériel</i>)
Jimmy	<i>Loi de Kepler (ellipse). La Terre tourne autour du Soleil en formant une ellipse.</i>	P	empirie	Objets d'étude (ou produit) Types théorie
Shanon	<i>Pas d'idée</i>	0		
Sacha	<i>En regardant le mouvement des autres planètes, avec la lunette galiléenne</i>	P	empirie	Elaboration + Ressources : Types activités pratiques + ressources matérielles (<i>avec la lunette galiléenne</i>)
Justine	<i>Je sais plus</i>	0		
Blandine	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Mélissa	<i>Je ne sais pas</i>	0		
Inès	<i>Je sais, mais je ne m'en souviens pas</i>	0		

2.1 Est-ce que d'après vous un bon physicien est quelqu'un qui observe d'abord ?

Elève	oui	non	Pourquoi ?	Objet et Nature du discours	Place de l'observation dans la démarche	Dimensions de la NoS
Julien	x	x	<i>Un physicien qui observe d'abord verra peut-être plus au premier abord qu'un physicien qui expérimente directement. Tout dépend du sujet. Parfois pratique > observation ou observation > pratique</i>	quelqu'un en général (Physicien) degré (verra plus) prescriptif (peut-être/dépend/parfois).	Obs.2	Elaboration : activités et démarches générales (verra peut-être plus au premier abord qu'un physicien qui expérimente) Objet (tout dépend du sujet)
Nacer	x		<i>On est obligé d'observer quelque chose afin de proposer une hypothèse</i>	quelqu'un en général (on) prescriptif (obligé)	Obs.1	Elaboration : type de démarche (afin de proposer une hypothèse), règle (obligé)
Richard	x		<i>La physique est avant tout une science pratique alors pour comprendre la physique, il faut avant tout observer les phénomènes de notre environnement. Archimède a trouvé la théorie de la poussée d'Archimède parce qu'il a observé ce qu'il s'est passé dans son bain. L'observation nous donne l'idée de la recherche.</i>	physique quelqu'un en particulier (Archimède) quelqu'un en général (nous), degré (avant tout) prescriptif (faut)	Obs.1	Elaboration : Règles (il faut avant tout observer les) Objet (les phénomènes de notre environnement.) Visées : Objectifs (La physique est avant tout une science pratique)
Mary	x		<i>Pourquoi expliquer quelque chose que l'on n'a pas observé ? C'est comme essayer de résoudre une équation où il manque des chiffres.</i>	quelqu'un en général (on)	Obs.1	Elaboration : démarche (expliquer quelque chose que l'on n'a pas observé)
Mathieu	x		<i>L'observation est très importante, elle peut nous permettre de comprendre beaucoup de chose. Mais cependant, il faut quand même faire attention, on n'observe pas toujours exactement ce que se passe, nos sens sont trop faible.</i>	quelqu'un en général (nous, on) degré (très importante/beaucoup) prescriptif (mais)	Obs.1	Elaboration : démarche (L'observation est très importante, elle peut nous permettre de comprendre beaucoup de chose.) Attitudes : Qualités (il faut quand même faire attention,)
Lucile	x		<i>Pour établir des hypothèses</i>		Obs.1	Elaboration (établir des hypothèses)
Emeric	x		<i>Il faut observer pour émettre des hypothèses et les conjecturer</i>	quelqu'un en général (il) prescriptif (faut)	Obs.1	Elaboration : Règles (émettre des hypothèses)
Mélissa	x		<i>Avant de proposer une explication il faut un « exemple » qui pourrait fonctionner</i>	quelqu'un en général (il) prescriptif (faut)	Obs.1	Objet (il faut un « exemple ») Elaboration : Règles (qui pourrait fonctionner)
Benjamin		x	<i>Le physicien doit d'abord réfléchir à ce qu'il veut prouver, puis établir un</i>	quelqu'un en général (physicien) prescriptif (doit)	Obs.3	Elaboration : Règles (puis établir un protocole et enfin

		<i>protocole et enfin observer</i>			<i>observer)</i>	
Marine	x	<i>L'observation est la base de l'explication, mais l'observation peut être fausse, il ne faut donc pas se fier seulement à l'observation</i>	quelqu'un en général (il) prescriptif (mais/pas seulement)	Obs.1	Elaboration : Activité (L'observation) + Objet Visées : présupposés (peut être fausse) Attitude (il ne faut donc pas se fier seulement)	
Rudy	x	<i>Ça permet de limiter les erreurs pouvant être commises</i>	degré (limiter)	Obs.1	Objet d'étude	
Yasser	x	<i>Il y a des limites aux sens, Ainsi les physiciens font des inventions, comme les télescopes pour regarder toujours plus loin.</i>	quelqu'un en général (physiciens)	Obs.1	Attitudes (Il y a des limites aux sens) Communauté (les physiciens) Produits (des inventions)	
Matthieu	x	<i>Il doit virtualiser la situation pour émettre ensuite des hypothèses, puis par la suite donner des explications</i>	quelqu'un en général (il) prescriptif (doit)	Obs.2	Elaboration : Règles (virtualiser la situation pour émettre ensuite des hypothèses, puis par la suite donner des explications)	
Manon	x	<i>Un bon physicien n'observe pas d'abord, car nos sens peuvent nous induire en erreur</i>	quelqu'un en général (physicien)	Obs.3	Attitudes (nos sens peuvent nous induire en erreur)	
Clément	x	x	<i>Des phénomènes ne peuvent parfois pas être observés, et cependant les scientifiques les étudient quand même.</i>	quelqu'un en général (scientifiques)	Obs.3	Objet (Des phénomènes) Communauté (les scientifiques) Elaboration : démarche (les étudient quand même.)
Quentin	x	<i>Il émet d'abord des hypothèses puis observe pour affirmer ou non cette hypothèse</i>	quelqu'un en général (il)	Obs.3	Elaboration (pour affirmer ou non cette hypothèse)	
Fanny	x	<i>On ne peut pas expliquer des phénomènes si on ne les observe pas d'abord, pour connaître la cause, il faut connaître les conséquences.</i>	quelqu'un en général (on) prescriptif (faut)	Obs.1	Elaboration : Règles (expliquer des phénomènes si on ne les observe pas d'abord.)	
Jérémy	x	<i>Il se sert de ses observations pour émettre une hypothèse, puis il cherche à la démontrer</i>	quelqu'un en général (il)	Obs.1	Elaboration : démarche (ses observations pour émettre une hypothèse)	
Charles	x	<i>C'est lorsqu'on observe qu'on découvre des choses</i>	quelqu'un en général (On)	Obs.1	Elaboration : activité (lorsqu'on observe qu'on découvre des choses)	
Gersende	x	<i>Pour avoir des données à exploiter, il faut d'abord observer un phénomène</i>	quelqu'un en général (Il) prescriptif (faut)	Obs.1	Objet (des données à exploiter)	

Antoine	x	<i>Pas forcément, il faut d'abord avoir une théorie pour pouvoir l'affirmer ou l'infirmier grâce aux observations qui doivent être très précises et centrées sur le sujet</i>	quelqu'un en général (Il) prescriptif (faut)	Obs.2	Elaboration : Règles (il faut d'abord avoir une théorie pour pouvoir l'affirmer ou l'infirmier) Objet (très précises et centrées sur le sujet)
Nolwenn	x	<i>Une observation est d'abord requise, car la physique est souvent basée sur une observation et ensuite on essaie de comprendre pourquoi pour proposer une explication possible</i>	physique	Obs.1	Elaboration : Règles (la physique est souvent basée sur une observation)
Pierre-Louis	x	<i>Le but de la physique est d'expliquer les phénomènes du monde. Sans observation de ces phénomènes, le physicien ne peut savoir ce qu'il doit expliquer</i>	physique	Obs.1	Vis : Objectifs (Le but de la physique est d'expliquer les phénomènes du monde.) Objet (Sans observation de ces phénomènes) Attitudes (le physicien ne peut savoir ce qu'il doit expliquer)
Jimmy	x	<i>Galilée.</i>	quelqu'un en particulier (Galilée)	Obs.0	
Shanon	x	<i>Sans observations ou expériences, je pense qu'il est difficile d'expliquer un phénomène</i>	quelqu'un en général (il)	Obs.1	Elaboration : démarche (sans observations ou expériences) Objet (un phénomène)
Sacha	x	<i>Pour se rendre compte d'un phénomène, il faut le voir. Ex. : Newton avec la pomme, il faut expérimenter</i>	quelqu'un en général (il) prescriptif (faut)	Obs.1	Objet (d'un phénomène, il faut le voir. + la pomme) Elaboration : Règles (il faut expérimenter)
Justine	x	<i>Parce qu'il s'appuie d'abord sur quelque chose pour donner une théorie, même si elle est fausse</i>	quelqu'un en général (il)	Obs.1	Elaboration : Démarche (s'appuie d'abord sur quelque chose) Visées : présumés (si elle est fausse)
Blandine	x	<i>Il privilégie la théorie et les expériences pour expliquer la réalité</i>	quelqu'un en général (il)	Obs.3	Elaboration : Démarche (privilégie la théorie et les expériences pour) Visées : présumés (expliquer la réalité)
Mélissa	x	<i>C'est suite à ses observations qu'il propose</i>	quelqu'un en général (il)	Obs.1	Elaboration démarche (ses

<i>des explications</i>			<i>observations qu'il propose des explications)</i>		
Inès	x	<i>En effet, c'est d'après une observation que l'on peut construire des théories sur le monde qui nous entoure</i>	quelqu'un en général (on)	Obs.1	Elaboration : Démarche (d'après une observation que l'on peut construire des théories) Visées : Objectifs (le monde qui nous entoure)

2.2 Deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ?

Elève	oui	non	Pourquoi ?	Nature du discours	Arguments convoqués	Dimensions de la NoS
Julien	x		<i>Deux physiciens ne regardent pas pareil un même phénomène, ils l'interprètent donc différemment</i>		monde des idées + monde empirique	Objet (<i>phénomène</i>) Elaboration
Nacer	x		<i>Tout dépend du positionnement des deux physiciens</i>	<i>tout dépend</i>	monde des idées regards/visions différentes	Visées Communauté
Richard	x		<i>L'exemple de la lumière illustre ce fait. En effet, la lumière est à la fois onde et matière. Les deux explications sont aussi vraie l'une que l'autre</i>		monde des idées + coexistence d'explication	Objet (<i>lumière</i>) Produits (<i>explications</i>) Visées (caractérise la science)
Mary	x		<i>Il suffit aux physiciens d'observer le phénomène d'un point de vue différent</i>		monde empirique + regards/visions différentes	Elaboration Objet (<i>phénomène</i>)
Mathieu	x		<i>Il peut y avoir plusieurs explications à un même problème. Par exemple, on voit le Soleil dans le ciel tourner autour de la Terre et certain l'explique du fait de l'orbite de la Terre autour du Soleil et d'autre du fait de l'orbite du Soleil autour de la Terre</i>	<i>il peut y avoir</i>	monde des idées + coexistence d'explication	Objet (<i>problème</i>) Produits (<i>explications</i>)
Lucile	x	-				
Emeric	x		<i>La façon de penser n'est pas universelle</i>		monde des idées façon de penser Contexte sociétal	Visées
Mélissa		x	<i>Le phénomène est la preuve faite par l'œil. Elle est donc interprétée d'une seule manière possible</i>		monde des idées + monde empirique	Objet Elaboration
Benjamin	x		<i>De leur point de vue, un phénomène peut avoir plusieurs causes.</i>	<i>de leur point de vue</i>	monde des idées :	Objet (<i>phénomène</i>) Visées (<i>peut avoir plusieurs causes</i>)
Marine	x		<i>Ils peuvent se tromper et donner une mauvaise explication au phénomène</i>	<i>ils peuvent</i>	monde des idées + Erreur	Elaboration : activité, intellectuelle (<i>donner une mauvaise explication au phénomène</i>) Attitudes (<i>Ils peuvent se tromper</i>) Visées (« bonne » explication) Bonne : plusieurs interprétations ?
Rudy	x		<i>Ils n'auront pas forcément la même façon de penser et aboutiront chacun à une explication différente</i>		monde des idées : façon de penser	Elaboration, Communauté et Produits
Yasser	x		<i>Avec la lumière.</i>		coexistence d'explication	Objet
Matthieu	x		<i>Chaque physicien n'a pas forcément vu ou interprété la même chose</i>		monde des idées + monde empirique	Objet Communauté
Manon	x		<i>Ils peuvent avoir une interprétation différente du</i>	<i>ils peuvent</i>	monde des idées +Contexte sociétal	Elaboration Objet

		<i>phénomène qu'ils observent. Durant l'histoire, plusieurs scientifiques n'étaient pas tous d'accord sur certains phénomènes Chacun avait leur explication.</i>			
Clément	x	<i>Tout le monde ne résonne pas de la même manière. Il y a de nombreuses théories par exemple sur le déclenchement du Big-bang</i>		monde des idées coexistence d'explication ne résonne	Communauté, Objets et Produits
Quentin	x	<i>Ils peuvent proposer une explication différente, car il peut y avoir différente observation d'un phénomène.</i>	<i>ils peuvent</i>	monde des idées + monde empirique. Regards ou visions différentes	Elaboration Objet
Fanny	x	<i>Chacun réfléchi différemment.</i>		monde des idées	Communauté
Jérémy	x	<i>Ils peuvent avoir une interprétation différente des forces en jeu, oublier un élément...</i>	<i>ils peuvent</i>	monde des idées + Erreur	Communauté
Charles	x	<i>Parce qu'on n'a pas la même façon de voir les choses</i>		regards/visions différentes	Communauté
Gersende	x	<i>Chacun interprète à sa manière les choses. On peut donc avoir deux points de vue différents</i>	<i>on peut</i>	monde des idées + regards/visions différentes	Communauté
Antoine	x	<i>Chacun interprète à sa façon les informations qu'il reçoit selon la culture, la religion ou le passé</i>		monde des idées + Contexte sociétal	Communauté
Nolwenn	x	<i>Ils peuvent proposer une explication différente, car ils n'ont pas la même façon de raisonner, de réfléchir donc l'explication qu'ils donneront sera forcément différente.</i>	<i>ils peuvent</i>	monde des idées : façon de penser	Communauté et produits
Pierre-Louis	x	<i>Leur imagination n'est pas la même, ils peuvent donc imaginer des explications différentes</i>	<i>ils peuvent</i>	monde des idées : façon de penser	Communauté et Produits
Jimmy	x	<i>Ils n'ont sans doute pas les mêmes idées et le même esprit</i>	<i>sans doute</i>	monde des idées : façon de penser	Communauté
Shanon	x	<i>Cela dépend de leur conception, comment ils vont l'interpréter</i>	<i>Cela dépend</i>	monde des idées : Cadre intellectuel	Communauté
Sacha	x	<i>Tout dépend de comment le scientifique se place, de ce qu'il attend comme résultat, si il se base sur le mouvement d'un objet ou sur celui d'un autre</i>	<i>tout dépend</i>	monde des idées : Cadre intellectuel + regards/visions différentes	Elaboration Objet
Justine	x	<i>On n'a pas tous les mêmes façons de penser et donc d'interpréter</i>		monde des idées : Façon de penser	Communauté
Blandine	x	<i>Il existe plusieurs interprétations. La science est sans cesse remise en question</i>		monde des idées	Visées
Mélissa	x	<i>Les deux physiciens n'interprètent pas leur observation de la même manière. C'est de là qu'ils vont se concerter et se mettre d'accord</i>		monde des idées	Communauté Elaboration
Inès	x	<i>En effet, chaque homme possède une vision qui peut être différente. Deux physiciens peuvent s'appuyer sur des aspects différents et les analyser différemment</i>	<i>peuvent</i>	monde des idées + monde empirique + Regards ou visions différentes	Communauté

3. Lorsqu'une explication est mise en défaut par une observation est-elle abandonnée par les physiciens ?

Elève	oui	non	pourquoi	catégorie de réponse (présentes dans les phrases)	Dimensions de la NoS
Julien		x	<i>Des physiciens peuvent se repencher sur la question plus tard, après une grande découverte qui change tout</i>	Restent sur leur position en attendant de nouvelles avancées	Communauté (<i>Des physiciens</i>) Temps (<i>plus tard</i>)
Nacer		x	<i>On essaie de trouver une autre observation pour la prouver ou de modifier quelque chose pour que ça fonctionne</i>	Mettent en cause les résultats et tentent de les reproduire + <i>Proposent une nouvelle explication</i>	Elaboration (<i>ou de modifier quelque chose pour que ça fonctionne</i>)
Richard		x	<i>L'explication peut nous donner un modèle de la réalité, la preuve ce qu'on nous enseigne à l'Education Nationale est toujours de plus en plus vraie dans le sens où chaque année, on nous dit « ce que vous avez vu l'année dernière était faux », mais le modèle aide à la compréhension.</i>	Utilisent l'explication en restreignant son champ d'application	Visées (<i>L'explication peut nous donner un modèle de la réalité+ le modèle aide à la compréhension.</i>)
Mary		x	<i>L'explication mise en défaut peut servir à résoudre le problème</i>	Utilisent l'explication en restreignant son champ d'application	Ressources
Mathieu		x	<i>On me donne un sifflet et on me dit qu'il produit un son. Je l'utilise et aucun son ne sort. Pourtant, c'est juste un sifflet à ultrason et même si du son est sorti je ne l'ai pas capté, nos sens ne sont pas à 100 % fiable, la théorie n'est donc pas rejetée si un de mes sens ne le dit</i>	Utilisent l'explication en restreignant son champ d'application (US n'est pas un son)	Attitudes (qualités individuelles) Ressources (capteur) Elaboration avec domaine de validité
Lucile		x	<i>Observation pas toujours juste</i>	Mettent en cause les résultats	Elaboration (règles), car on reste sur une action, et pas sur la science en général
Emeric		x	<i>Ils débattent pour savoir lequel a raison</i>	Restent sur leur position en attendant de nouvelles avancées — Évolution + pas de changement	Communauté
Mélissa		x	<i>Elle doit marcher dans un cas général</i>	Restent sur leur position — Idéal ? décontextualisation	Elaboration : Règles
Benjamin	x	x	<i>Une explication doit être vraie tout le temps, si une observation sur 100 la contredit, elle est nulle. Une observation peut être faussée par un élément extérieur</i>	Evolution — Mettent en cause les résultats	Elaboration : Règle, pas d'exception
Marine		x	<i>Car l'observation peut être fausse ou la base de l'explication peut être bonne</i>	Mettent en cause les résultats	Elaboration règles
Rudy		x	<i>Puisqu'on ne peut pas toujours se fier à ce que l'on voit. Ex : Mirage, bâton dans l'eau</i>	Mettent en cause les résultats	Objet + Attitudes (qualité)
Yasser		x	<i>Comme la mécanique quantique et classique</i>	Utilisent l'explication en restreignant son champ d'application	Produits
Matthieu		x	<i>Non, car il n'y aurait pas d'évolution. Les physiciens émettent des hypothèses, mais ensuite d'autres</i>	Restent sur leur position en attendant de nouvelles avancées	Temps (histoire) Elaboration Communauté au même

		<i>continuent de chercher d'autres explications</i>		moment, car il y a ensuite
Manon	x	<i>Cela peut être vrai. Les personnes qui ont validé ou refusé l'explication n'ont pas forcément raison, ils peuvent avoir tort.</i>	Mettent en cause les résultats	Justification pas claire, ambiguë. Raison/tord renvoie à l'idée d'une « norme » (laquelle ?) accord théorie-réalité/accord communauté
Clément	x	<i>Non, car parfois on n'observe pas la réalité. Ex. : bâton brisé dans l'eau</i>	Mettent en cause les résultats	Elaboration Objet Visées : Rapport à la réalité
Quentin	x	<i>Une explication peut être fausse pour une observation, mais elle peut être vraie pour d'autres</i>	Utilisent l'explication en restreignant son champ d'application	Elaboration Domaine de validité
Fanny	x	<i>Les observations peuvent parfois tromper et ne reflètent pas toujours la réalité</i>	Mettent en cause les résultats	Elaboration Visées : Rapport à la réalité
Jérémy	x	<i>Cela ne pourrait être qu'un cas particulier, ou peut être que l'explication n'est qu'en partie correcte et qu'il y a juste eu un oubli</i>	Utilisent l'explication en restreignant son champ d'application	Elaboration : Règle exception possible, mais 100 %
Charles	x	<i>Non, on abandonne jamais, on cherche toujours à démontrer quelque chose jusqu'au bout</i>		Attitudes
Gersende	x	<i>Ex. : Einstein et la relativité restreinte a repris des travaux d'un autre physicien</i>	Proposent une nouvelle explication	Ressources
Antoine	x	<i>Il n'existe pas toujours de meilleur théorie, si elle est globalement vraie et marche le mieux parmi toutes les autres théories alors on na pas d'autre choix que de l'utiliser</i>	Restent sur leur position en attendant de nouvelles avancées	Visées
Nolwenn	x	<i>Une explication n'est pas toujours abandonnée, elle peut être mise de côté pendant quelques temps pour trouver des justifications, trouver pourquoi une explication est mise en défaut par une observation, se baser sur cette observation pour trouver à nouveau une explication ou rectifier l'explication précédente</i>	Restent sur leur position en attendant de nouvelles avancées	Elaboration Temps
Pierre-Louis	x	<i>Certains physiciens cherchent une explication à la mise en défaut de leur précédente explication. Ils peuvent complexifier leur modèle pour qu'il corresponde aux observations</i>	Restent sur leur position en attendant de nouvelles avancées	Elaboration (<i>Ils peuvent complexifier leur modèle</i>) Communauté
Jimmy	x	<i>Non, ex mécanique classique et quantique</i>	Utilisent l'explication en restreignant son champ d'application	Ressources
Shanon	x	<i>Non, car ils peuvent toujours la consulter, où pour un autre physicien cette explication peut ne pas être mise en défaut, selon sa conception</i>	Utilisent l'explication en restreignant son champ d'application	Communauté
Sacha	x	<i>Cela peut fonctionner une fois et ne pas fonctionner l'autres en fonction du référentiel, du milieu... Cela peut être faux pour la mécanique classique, mais vérifié par la</i>	Utilisent l'explication en restreignant son champ d'application	Elaboration

			<i>mécanique moderne quantique...</i>		
Justine	x		<i>Ils vont essayer de trouver d'autres théories en se basant sur leurs erreurs</i>	Proposent une nouvelle explication	Visées Elaboration
Blandine	x	?	<i>Comme pour Newton qu'on n'a pas abandonner, certaines lois peuvent être vraies pour certaines situations</i>	Utilisent l'explication en restreignant son champ d'application	Visées
Mélissa	x		<i>les physiciens vont essayer de comprendre, ainsi ils vont faire de nouvelles recherches pour trouver d'autres explications à l'observation</i>	Proposent une nouvelle explication	Elaboration
Inès	x		<i>En effet, une expérience n'est pas abandonnée par une observation, elle peut être remise en cause. C'est une expérience qui va pouvoir abandonner une théorie, en trouvant une autre théorie</i>		Elaboration Visées

4. Quand deux explications permettent de rendre compte du même phénomène, que font les physiciens ?

Elève	Réponse	Relations entre explications	Choix entre explications	Activité	Dimensions de la NoS
Julien	<i>Je ne sais pas, ils essaient de trouver une explication commune à leurs explications</i>	Un point commun	Chx.2		Elaboration
Nacer	<i>On les met en commun pour donner une seule idée</i>	Une en commun	Chx.2		Elaboration
Richard	<i>Ils essaient de comprendre pourquoi les deux explications sont justifiées, bien souvent ces deux points de vue sont complémentaires. Les physiciens essaient donc d'établir une troisième théorie qui prend en compte les deux premiers phénomènes</i>	Une par dépassement Les deux sont complémentaires	Chx.1	Activités intellectuelles	Elaboration
Mary	<i>Ils font des expériences</i>		Chx.1	Expérience	Elaboration
Mathieu	<i>Les physiciens font des recherches pendant des années jusqu'à ce que l'une des deux explications puisse être rejetée</i>	Une explication à la fin rejet	Chx.1		Elaboration Temps (pendant des années)
Lucile	<i>Je ne sais pas</i>		Chx.0		
Emeric	<i>Ils sont contents et cherchent une explication scientifique</i>	Une explication	Chx.1	Activités intellectuelles	Elaboration
Mélissa	<i>Ils essaient de le démontrer dans un cas général</i>		Chx.1		Elaboration
Benjamin	<i>Ils essaient d'abord de déterminer si une seule est vrai, sinon ils peuvent regrouper les théories (Ex ; dualité onde corpuscule)</i>	Une avec rejet ou regrouper	Chx.1		Elaboration démarche
Marine			Chx.0		
Rudy	<i>Ils essaient probablement de trouver pourquoi</i>		Chx.1		Elaboration
Yasser			Chx.0		
Matthieu	<i>Ils essaient de démontrer l'une puis l'autre explication généralement, pour aboutir à une seule explication</i>	Une explication	Chx.1	Démonstration Activités intellectuelles	Elaboration
Manon	<i>Les physiciens vont comparer leurs explications afin de pouvoir déterminer laquelle est la bonne. Ils vont aussi réaliser plusieurs expériences</i>	Une explication	Chx.1	Expérience	Communauté (les physiciens) Elaboration (vont comparer leurs explications)
Clément	<i>Ils se battent pour défendre leur théorie</i>	Communauté/controverse	Chx.1		Communauté
Quentin	<i>Ils vont chercher un lien entre les deux explications pour voir si ce ne sont pas les mêmes, si elles n'ont pas le même raisonnement</i>	Cherche un lien (un peu différent)	Chx.2		Elaboration
Fanny	<i>Ils étudient les deux, voient si elles ont des points communs</i>	Cherche à concilier (regrouper) commun	Chx.2	Activités intellectuelles	Objet (phénomène)

	<i>et peuvent ainsi voir s'il existe une explication basée sur les deux premières qui rend compte de ce phénomène</i>				
Jérémy	<i>Ils confrontent les deux explications, et tentent de démontrer que l'une d'elle est correcte</i>	Idée qu'il y en a qu'une	Chx.1	Activités intellectuelles	Elaboration
Charles	<i>Ils refont les calculs pour arriver au même résultat</i>		Chx.1	Activités intellectuelles	Elaboration
Gersende	<i>Ils essaient de les mettre en relation ou en exclu une des deux après des études approfondies</i>	Deux catégories : une à la fin ou alors les deux reliées	Chx.1	Activités intellectuelles	Elaboration
Antoine	<i>Ils réécrivent leur définition et font d'autre recherche en attendant une réponse</i>		Chx.1	Activités intellectuelles	Elaboration
Nolwenn	<i>Soit on admet que ces explication soient bonnes, soit on fait une expérience qui pourra déterminer laquelle des deux est la bonne</i>	Une explication	Chx.1	Expérience	Elaboration : démarche
Pierre-Louis	<i>Ils attendent une observation qui invalidera l'une des deux explications. Durant toute cette attente, les deux explications coexistent</i>	Coexistent, mais à la fin : Une explication	Chx.1		Temps (<i>Ils attendent</i>) Visées (<i>deux explications</i>)
Jimmy	<i>Ils essaient de mettre les deux explications en commun, soit pour prouver que l'une est fausse, soit pour trouver une meilleure explication</i>	Commun	Chx.2		Elaboration
Shanon	<i>Les physiciens émettent des hypothèses afin de vérifier si l'explication est juste ou non.</i>	Une seule explication	Chx.1	Activités intellectuelles	Elaboration
Sacha	<i>Ils regardent l'explication la plus précise</i>	Valeurs	Chx.1	Activités intellectuelles	Elaboration Visées (<i>la plus précise</i>)
Justine	<i>Ils cherchent les choses qui lient ces deux explications et s'occupent ensuite de leur lien avec le phénomène</i>	Point commun	Chx.2		Objet (<i>le phénomène</i>)
Blandine	<i>Ils regardent dans quel cas elles fonctionnent et cherchent un lien qui puisse les réunir (comme l'infiniment grand et l'infiniment petit)</i>	Domaine de validité	Chx.2	Activités intellectuelles	Visées Elaboration
Mélissa	<i>Ils essaient de comprendre pourquoi</i>	Une explication	Chx.1	Activités intellectuelles	Elaboration
Inès	<i>Les physiciens comparent les deux explications en trouvant une expérience. Cette expérience pourra nous démontrer quelles explications entre les deux est la bonne ou que les deux le sont</i>	Une explication, mais n'exclut pas la possibilité de 2 explications	Chx.1	Expérience	Visées (<i>la bonne ou que les deux le sont</i>)

5. Peut-on être scientifique et croyant ?

Elève	Oui	Non	Pourquoi ?	Objet et nature du discours	Rapport entre Sciences et croyances	Dimensions de la NoS
Julien	x	x	<i>Je pense que l'on ne peut pas vraiment être scientifique et croyant, car cela peut influencer le résultat. Mais on peut croire sans pour autant en faire part dans les résultats</i>	Personne Nuancé/pluraliste	Croyance influe (pas de possibilité d'être neutre) Résultat non influencé serait exact, vrai Croyance du domaine du privé Cr.3	Attitudes (<i>cela peut influencer le résultat</i>) Elaboration : règle (<i>Mais on peut croire sans pour autant en faire part dans les résultats</i>)
Nacer	x		<i>Mais cela peut venir contredire certaine théorie et avoir une opinion différente que d'autre scientifique non croyant Albert Einstein</i>	personne + exemple	Contradiction Science et religion Entre scientifiques Contradiction entre deux visions du monde (niveau « général » ou personnel) Cr.2	Produits (<i>Mais cela peut venir contredire certaine théorie</i>)
Richard	x		<i>Oui parfaitement, les plus grands scientifiques étaient généralement des croyants. Galilée l'était par exemple. Les sciences à la base avaient pour but de mieux comprendre la religion et l'Univers qu'a fait Dieu ou les dieux</i>	Général + personne + exemple tranché/monolithique	S explique Religions. Univers fait par Dieu Cr.2	Communauté (<i>les plus grands scientifiques étaient généralement des croyants</i>) Visées (<i>Les sciences à la base avaient pour but de mieux comprendre la religion et l'Univers qu'a fait Dieu ou les dieux</i>)
Mary			<i>Il existe des croyants scientifiques. Pourtant je trouve ça complètement paradoxal la science s'explique, se démontre. La croyance n'est que des hypothèses. Je ne pense pas qu'on puisse croire à un créateur divin et croire en la science, la divinité ne s'explique pas</i>	Général + personne	S explique Cr.2	Communauté (<i>Il existe des croyants scientifiques</i>) Attitudes : qualités Visées (<i>la science s'explique, se démontre</i>) implicite l'idée que la science explique tout
Mathieu	x	x	<i>Pou moi, on ne peut pas, car les sciences prônent que les religions sont basées sur des faits totalement faux et inventé comme Adam et Ève contredit par Darwin. Mais je mets quand même oui, car certains scientifiques sont</i>	Général + personne Nuancé/pluraliste	S contredit Religion Cr.2	Produits Communauté

		<i>croyants et donc on peut.</i>			
Lucile	x	<i>On ne peut pas avoir 2 avis différents</i>	personne tranché/monolithique	Cr.1	Attitudes
Emeric	x	<i>La religion influe trop la réflexion personnelle et empêche l'hypothèse de certain phénomène</i>	personne tranché/monolithique	religion R influence (début) Cr.3	Attitudes
Mélissa	x	<i>On peut démontrer une chose de manière scientifique en affirmant aussi que tous cela est la création de Dieu. Certaines choses qu'un scientifiques non croyant ne peut expliquer, un scientifique croyant dira que c'est l'œuvre de Dieu</i>	Personne	R influe sur l'interprétation Création de Dieu Cr.3	Visées Communauté (hétérogène) Attitudes (<i>Certaines choses qu'un scientifiques non croyant ne peut expliquer</i>)
Benjamin	x	<i>Le scientifique cherche à déterminer la vérité sans se soucier de ses opinions</i>	Personne	Séparation Cr.4	Visées Attitudes
Marine	x	-		Cr.0	
Rudy	x	<i>Ce sont deux domaines complètement différents : sciences et religion. Même si généralement, les deux s'opposent, cela n'empêche pas d'être les deux.</i>	Général	Conflit pas toujours religion Cr.4	Attitudes Visées
Yasser	x	<i>Oui comme Albert Einstein</i>	Exemple	Cr.1	Communauté
Matthieu	x	<i>Oui, car un croyant pensera que toutes choses est la création de Dieu et voudra s'en intéresser davantage</i>	Personne	R influence Cr.1	Attitudes
Manon	x	<i>Il existe de nombreux scientifiques croyants. La croyance ne pas être un obstacle à la science</i>	Général + personne	Cr.1	Attitudes Visées
Clément	x	<i>Nos croyances n'ont pas de rapport avec notre savoir</i>	Général	Séparation Cr.4	Ressources
Quentin	x	<i>La croyance et la science sont surtout en conflits sur l'apparition de la vie (Dieu ou la nature), mais un scientifique peut être croyant s'il ne travaille pas sur la théorie de la vie. Et s'il travaille sur ce thème, il peut croire que c'est Dieu qui a créé tous ces conditions favorables à la vie.</i>	Personne	R contredit Cr.2	Attitudes Elaboration Produits

Fanny	x		<i>Être croyant n'empêche pas de chercher des explications a des phénomènes observés. Il suffit d'être ouvert d'esprit</i>	Général	S explique Cr.4	Attitudes Elaboration Objet
Jérémy	x		<i>Être croyant n'empêche pas d'être scientifique tant que le travail n'est pas influencé par les croyances</i>	Général	Séparation Cr.4	Attitudes Visées
Charles	x	x	<i>Oui : les philosophes. Non : scientifiques non croyants</i>	Personne	Cr.1	Attitudes
Gersende	x		<i>Même si c'est totalement absurde : croire en la médecine et au miracle de Dieu pour les malades est incohérent par exemple.</i>	Général	R contredit Cr.2	Attitudes
Antoine	x		<i>Il y a plusieurs degrés de croyance, tous les religieux ne sont pas extrémistes ou fanatiques. Certains voient Dieu dans la science.</i>	Général + personne nuancé/pluraliste	Séparation Cr.4	Attitudes
Nolwenn	x		<i>Je pense qu'on peut être à la fois les deux, je pense que ça ne va pas influencer le choix du scientifique. C'est une question de choix personnel</i>	Général + personne	Séparation Cr.4	Attitudes
Pierre-Louis	x		<i>On peut observer n'importe quelle croyance. Et si une infinité de croyances sont possibles, il y en a forcément en accord avec la science</i>	Général	Cr.3	Visées
Jimmy	x		<i>Albert Einstein, lui était un scientifique et un croyant</i>	Exemple	Cr.1	Communauté
Shanon	x		<i>Oui, car on ne peut pas croire au hasard, à la coïncidence lors d'un phénomène</i>	Général	Cr.3	Objet
Sacha	x		<i>Certes on peut avoir peur d'ébranler notre foi, mais il faut savoir si on est avant tout scientifique ou croyant, mais les deux ne s'opposent pas. Prouver que la Terre n'est pas au centre de tout n'est pas prouver que Dieu n'existe pas</i>	Général nuancé/pluraliste	Séparation Cr.4	Attitudes Visées
Justine	x		<i>Les deux sont des théories. Quand on croit</i>	Général + personne Nuancé/pluraliste	séparation	Visées Temps

			<i>à quelque chose, on n'est pas sûr => existe Dieu sûr ? Existe pas Dieu sûr ? Les physiciens émanent des théories fausses ou justes (pendant un temps) selon la relativité</i>			Produits
Blandine	x		<i>Beaucoup de scientifique ont été ou sont croyant. De plus on peut noter que la science est elle-même une croyance.</i>	Général + personne	séparation	Attitudes Visées
Mélissa	x	x	<i>Puisqu'il peut croire en un Dieu et être scientifique, mais d'un autre côté, il ne peut pas être scientifique et croire en, par exemple Adam et Ève, ça serait contradictoire</i>	Personne + exemple	R contredit	Attitudes Communauté
Inès	x		<i>Oui en effet, car pour être un scientifique, il faut être un homme. Et tous les hommes sont croyants, ils croient en des choses différentes, mais ils croient tous à quelque chose</i>	Personne		Attitudes

Annexe 3 : Les réponses au questionnaire n°2

1. Qu'est ce que cette séance vous a appris d'important sur l'élaboration des savoirs scientifiques ? Expliquez.
2. Comment expliquez-vous que Ptolémée et Copernic défendent des positions différentes ?
3. Une lecture attentive des textes vous montre que la plupart de ces grands scientifiques étaient croyants, pensez-vous que cela ait pu avoir une grande influence sur leur travail en tant que scientifique ? Oui Non Pourquoi :
4. Cet exemple célèbre de l'astronomie vous montre que les sciences sont en perpétuelle évolution, cela signifie-t-il que Ptolémée (par exemple) était dans l'erreur ? Oui Non Pourquoi ? Si oui peut-il être encore selon vous considéré comme un scientifique ?
5. Cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ? Oui Non Pourquoi :
6. Est-ce qu'il vous semble important de réfléchir sur ce qu'est l'activité scientifique ? Oui Non Pourquoi ? Ne peut-on pas considérer que vous aviez vous-même une forme de pré-supposé vis-à-vis de l'activité scientifique elle-même ? Oui Non précisez-le(s) quel(s)

1. Qu'est ce que cette séance vous a appris d'important sur l'élaboration des savoirs scientifiques ? Expliquez.

Elève	Réponse	Arguments convoqués	Dimensions de la NoS
Julien	<i>L'élaboration des savoirs scientifiques est trouble et change tout le temps, il reprenne toujours le passé pour l'améliorer</i>	reprendre le passé, amélioration	Temps : Histoire (change tout le temps, reprendre le passé, amélioration) + jugement porté sur l'histoire : trouble ? Caractérisation de l'évolution (type d'histoire)
Nacer	<i>À quelques années près les scientifiques se contredisant beaucoup, par exemple sur le géocentrisme et l'héliocentrisme</i>	contradiction	Temps : Histoire (à quelques années près) (contradiction) Communauté, car il évoque des scientifiques, qui ne sont pas d'accord entre eux. S-dim : Relations au sein de la Communauté scientifique
Richard	<i>Les savoirs scientifiques ne sont pas contradictoires, mais complémentaires. Rien n'est faux en soi, il suffit d'être plus ouvert afin de trouver une loi plus générale</i>	Domaine de validité	Visées (rapport à la réalité : complémentaires, rien n'est faux en soi) Attitudes (plus ouvert) Produits (loi plus générale)/Domaine de validité
Mary	<i>Il ne faut pas établir une explication sur une simple observation</i>	observations	Elaboration (observation), « règles » règles plus spécifiques
Mathieu	<i>Les préjugés ont plus d'importance que les observations pour l'élaboration d'une théorie</i>	hiérarchie (règles méthodologique, préjugés)	Elaboration (observation) Visées (préjugés)
Lucile	<i>Il faut beaucoup de temps et de théories différentes avant d'accéder à des théories satisfaisantes</i>	rapport à la réalité	Temps : Histoire (temps) Visées : caractéristiques générales, rapport à la réalité (théories satisfaisantes)
Emeric	<i>La religion a joué un rôle important sur les recherches scientifiques</i>	religieux	Société Ressources (religion, rôle) ?
Mélissa			
Benjamin	<i>La plupart des élaborations portent de théories fausses, qui sont corrigées au cours du temps pour tendre vers la réalité</i>	rapport à la réalité ; reprendre le passé, amélioration	Temps : Histoire (corrigées au cours du temps) Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) (fausses, tendre vers la réalité)
Marine	<i>Les savoirs scientifiques évoluent toujours, ce sont des présupposés ce qui fait de la science une croyance</i>	Présupposés ; reprendre le passé, amélioration	Temps : Histoire (évoluent toujours) Visées, caractéristiques générales (ancrage paradigme : Présupposés) (rapport aux autres disciplines [démarcation] : science et croyance) Elaboration, règles
Rudy	<i>Les scientifiques ne sont pas obligés d'observer un phénomène pour l'interpréter</i>	Observation	Elaboration, règles
Yasser	-		
Matthieu	<i>L'élaboration des savoirs scientifique dépend aussi des présupposés</i>	présupposés	Visées caractéristiques générales, présupposés
Manon	<i>Cette séance m'a appris que pour passer d'un théorème à l'autre, cela n'a pas été simple. L'élaboration des savoirs scientifiques était autrefois étudiée</i>	reprendre le passé, amélioration, simplicité	Temps : Histoire (Méthodes évoluent) Elaboration + ressources

	<i>autrement que maintenant. En effet, aujourd'hui la théorie héliocentrique est élaborée de façon mathématique alors qu'autrefois la théorie géocentrique était élaborée différemment</i>		
Clément	<i>Elle m'a appris la manière dont on établit une théorie, dont on la réfute, dont on passe d'une théorie à une autre avec des arguments et la manière dont on défend une théorie.</i>	argumentation	Elaboration Communauté (avec des arguments et la manière dont on défend une théorie.)
Quentin	<i>Elle m'a montré que certaines choses que l'on croyait vraies avant ne le sont plus aujourd'hui et que les théories d'aujourd'hui peuvent un jour se révéler fausses.</i>	rapport à la réalité	Temps : Histoire Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) fausse
Fanny	<i>Il ne faut pas se fier aux observations, car elles peuvent être trompeuses</i>	rapport à la réalité	Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) trompeuses Elaboration
Jérémy	<i>Avec les mêmes données, et les mêmes informations, deux scientifiques peuvent arriver à des conclusions différentes. Un savoir qu'on croyait connaître peut être remis en cause même bien des siècles plus tard</i>	savoirs scientifiques	Ressources (mêmes données, et les mêmes informations, savoir) Communauté (deux scientifiques peuvent arriver à des conclusions différentes.) Temps : Histoire (des siècles)
Charles	<i>Ce que cette séance m'a appris d'important sur l'élaboration des savoirs scientifiques est la façon par laquelle les scientifiques affirment leurs théories</i>	argumentation	Communauté (la façon par laquelle les scientifiques affirment leurs théories)
Gersende	<i>Il faut faire abstraction de tous nos préjugés, de toutes nos croyances pour arriver à interpréter des phénomènes sans influence</i>	croyances	Société (croyances)
Antoine	<i>Les observations ne sont pas le cœur du travail scientifique, il faut parfois des millénaires pour obtenir une réponse proche de la réalité</i>	rapport à la réalité	Elaboration (Les observations) Temps : Histoire (des millénaires) Visées (proche de la réalité)
Nolwenn	<i>Cette séance sur l'élaboration des savoirs scientifiques m'a appris beaucoup de choses. En effet, j'ai pu découvrir les positions d'Aristote et de Ptolémée. Même si il y a quelques points communs entre les deux, grâce aux textes que l'on a eus, on a pu faire la différence entre ces deux positions. Les savoirs scientifiques sont différents.</i>	savoirs scientifiques	Ressources (on a pu faire la différence entre ces deux positions. Les savoirs scientifiques sont différents)
Pierre-Louis	<i>Elle m'a permis de réfléchir sur le fondement de nos connaissances. Ce qui me semble important c'est de savoir prendre des distances face aux faits supposés vrais, car cela peut être un frein à l'évolution du savoir scientifique. Il ne faut pas hésiter à se remettre en question.</i>	rapport à la réalité	Elaboration (fondement de nos connaissances) Visées (supposés vrais) Temps : Histoire (être un frein à l'évolution du savoir) Attitudes (prendre des distances face aux faits, Il ne faut pas hésiter à se remettre en question.)
Jimmy	<i>Les gens ont gâché trop d'années de leur vie pour rien !</i>	temps	Communauté (Les gens) Temps : Histoire (trop)

			<i>d'années)</i>
Shanon	<i>Pour être un bon scientifique, le physicien n'observait pas dans un premier temps. J'ai pu voir comment les différents physiciens procèdent pour défendre leurs idées sur le géocentrisme ou l'héliocentrisme et sur quoi ils s'appuyaient (comme arguments) pour défendre leurs idées.</i>	observations	Elaboration (le physicien n'observait pas dans un premier temps) Communauté (ils s'appuyaient [comme arguments] pour défendre leurs idées.)
Sacha	<i>Il semble que la physique suit, un peu comme les arts, des mouvements où une certaine philosophie semble venir. Derrière des lois physiques se trouve un état de pensée propre à l'époque. La religion joue elle aussi sur la découverte de lois.</i>	religieux	Visées (la physique) Temps : Histoire (à l'époque) Société (La religion) produits (Derrière des lois physiques)
Justine	<i>Tout est basé sur des présupposés et sur la croyance qu'à chacun en la science</i>	présupposés	Visées caractéristiques générales, présupposés
Blandine	<i>Contrairement à ce qu'on pouvait croire, l'élaboration des savoirs scientifiques ne repose pas sur l'observation. Une observation neutre n'existe pas, elle est guidée par des théories déjà supposées ou envisagées. De plus, un savoir scientifique n'est pas fixe, donc ce qu'on sait aujourd'hui sera peut être faux demain, l'élaboration de ces savoirs est un chemin périlleux et constant</i>	observations + rapport à la réalité	Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) Elaboration Temps : Histoire (scientifique n'est pas fixe)
Mélissa	<i>Ça m'a appris que ce n'est pas suite à des observations que les scientifiques ont établi leurs théories, les observations sont là pour, en quelque sorte, prouver leur théorie</i>	observations	Communauté (les scientifiques), Elaboration (ont établi leurs théories, les observations sont là pour, en quelque sorte, prouver leur théorie)
Inès	<i>Cette séance m'a appris que les savoirs scientifiques ont évolué, car les éléments sur lesquels ils s'appuient ont évolué. Aristote et Ptolémée défendaient le modèle géocentrique en s'appuyant sur la physique qualitative. Et l'église réfutait toutes autres théories, en faisant pression. Ensuite, d'autres personnes par exemple se sont appuyées sur la physique mathématique pour élaborer et prouver le modèle héliocentrique</i>	reprenre le passé, amélioration	Temps : Histoire (ont évolué) Société (Et l'église réfutait toutes autres théories, en faisant pression) Communauté (d'autres personnes par exemple se sont appuyées)

2. Comment expliquez-vous que Ptolémée et Copernic défendent des positions différentes ?

Elève	Réponse	Nature des arguments	dimensions de la NoS convoqués
Julien	<i>Ils n'ont pas le même point de vue</i>	Démarche : pas la même façon de penser	Attitudes
Nacer	<i>Ils n'ont pas vécu à la même époque</i>	contextes différents	Temps (<i>la même époque</i>)
Richard	<i>Ils disent la même chose, mais ne se placent pas dans le même référentiel</i>	Démarche	Elaboration + Objet
Mary			
Mathieu	<i>Ptolémée pensait que Dieu jouait un grand rôle</i>	Registre religieux	Société Religion Ressources (<i>Dieu, rôle</i>)
Lucile	<i>Ils avaient des présupposés différents</i>	présupposés différents	Visées caractéristiques générales, présupposés
Emeric	<i>Le détachement à la religion</i>	Registre religieux	Société Religion Séparation des registres ou vision partielle ?
Mélissa	<i>Les méthodes de recherches n'était pas les mêmes. Ils n'ont donc pas pu avoir les mêmes idées</i>	Démarche : méthode	Elaboration (<i>Les méthodes de recherches</i>)
Benjamin	<i>Ptolémée n'avait qu'Aristote avant lui, alors que Copernic a pu croiser les sources de plusieurs auteurs avant lui</i>	Démarche ; Contexte	Communauté (<i>de plusieurs auteurs</i>) Elaboration Méthode (<i>croiser les sources</i>) Temps (<i>avant lui</i>)
Marine	<i>Ptolémée s'appuie sur ce qu'il voit, sur ce qu'il observe alors que Copernic ne s'appuie pas sur l'observation</i>	Démarche : méthode	Elaboration Méthode (<i>observation</i>)
Rudy	<i>Ils n'ont pas vécu à la même époque, les mentalités changent et leur façon de penser aussi</i>	Contextes différents ;	Temps (<i>époque</i>)
Yasser	<i>Ptolémée utilise l'observation, alors que Copernic non</i>	Démarche : méthode	Elaboration Méthode (<i>observation</i>)
Matthieu	<i>Ils n'avaient pas la même logique, pas les mêmes présupposés</i>	Présupposés différents ; Démarche	Attitudes (<i>Ils n'avaient pas la même logique</i>) Visées caractéristiques générales, présupposés
Manon	<i>Ptolémée et Copernic avaient deux propositions différentes, car chacun avait une croyance différente</i>	Registre religieux/Croyance	Société (<i>une croyance différente</i>)
Clément	<i>L'un défend la théorie théologique alors que l'autre défend la théorie scientifique</i>	Société religion	Société Religion (<i>théorie théologique</i>)
Quentin	<i>Ptolémée a mis en avant sa croyance pour placer la Terre au centre de l'Univers, alors que Copernic a mis en avant ses observation pour dire que le Soleil était au centre</i>	Démarche différente pas la même façon de faire ; Croyance (Référence implicite à religion)	Société (<i>croyance</i>) Attitudes (<i>a mis en avant ses observations</i>)
Fanny	<i>Ils avaient tous les deux des présupposés différents</i>	Présupposés différents	Visées caractéristiques générales, présupposés
Jérémy	<i>Ils avaient des points de vue et des explications différentes sur ce qu'ils observaient. De plus, Copernic avait plus d'information à sa disposition</i>	Contextes différents ; démarche (<i>Copernic avait plus d'information à sa disposition</i>)	Temps (<i>Copernic avait plus d'information à sa disposition</i>)
Charles	<i>Ils ne défendent pas la même chose, l'un défend la théologie et l'autre défend la science</i>	Démarche + Religion (<i>la théologie</i>)	Société Religion (<i>la théologie</i>)
Gersende	<i>Interprétation différente des observations</i>	Présupposés (Lien entre observation et interprétation/observation pas neutre/cadre conceptuel et théorique)	Attitudes

Antoine	<i>Ils n'ont pas interpréter les informations à leur disposition de la même manière et sont partie dès le départ en admettent des modèles différents</i>	Présupposés (<i>interprétation</i>)	Elaboration
Nolwenn	<i>Ptolémée a fait son interprétation avec des croyances tandis que Copernic lui a fait ça juste avec son observation</i>	Démarche	Société Attitudes (<i>a fait ça juste avec son observation</i>)
Pierre-Louis	<i>Ils vivent à des époques totalement différentes. Les temps ont changés, les croyances ont évolué. C'est la logique des choses</i>	Contextes différents	Temps (<i>époques totalement différentes.</i>)
Jimmy	<i>Ils n'ont pas les mêmes idées ou le même esprit</i>	Présupposés différents	Attitudes (<i>idées ou le même esprit</i>)
Shanon	<i>Ils ont différents point de vue, différentes idées de bases pour l'élaboration de leurs théories</i>	Présupposés différents	Visées caractéristiques générales (<i>différentes idées de bases</i>)
Sacha	<i>Ptolémée vivait plus de 1000 ans avant Copernic, ne pouvait observer l'espace avec une lunette et n'avait pas les même présupposés, scientifiques et religieux</i>	Démarche (en lien avec la technique) + présupposés et contexte différents	Temps (<i>1000 ans</i>) Visées caractéristiques générales, présupposés Société Religion
Justine	<i>Ils ne croient pas en la même peut-être parce qu'ils n'ont pas la même façon de penser et qu'ils n'ont pas commencé à chercher des trucs qu'ils pensent déjà trouver chacun</i>	Présupposés différents	Attitudes
Blandine	<i>Un scientifique (comme Ptolémée et Copernic) reste avant tout un être humain et donc peut se tromper et être influencé. Il peut être influencé par sa société, ses propres croyances. Ces deux scientifiques ont vécu dans deux époques totalement différentes, il va de soi que leur analyse soient différentes l'une de l'autre</i>	Présupposés différents ; Contexte, communauté ; erreur	Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) tromper Temps (<i>deux époques</i>) Société
Mélissa			
Inès	<i>Ptolémée et Copernic défendent des positions différentes, car ils s'appuient sur des modèles différents. L'un utilise la physique qualitative (Ptolémée) et l'autre la physique mathématiques (Copernic)</i>	Démarche	Attitudes

3. Une lecture attentive des textes vous montre que la plupart de ces grands scientifiques étaient croyants, pensez-vous que cela ait pu avoir une grande influence sur leur travail en tant que scientifique ?

Elève	Oui	Non	Pourquoi ?	Position Sciences et croyances	Dimensions de la NoS
Julien	x		<i>Si on regarde certains textes, on peut voir qu'ils font référence à Dieu, avec par exemple la Lune, parfaite et divine</i>	Pas séparé (résultat) Cr.3	Produits (<i>Si on regarde certains textes</i>) Ressources (<i>ils font référence à Dieu</i>)
Nacer	x		<i>La religion, la croyance joue toujours un rôle dans une prise de décision ou de raisonnement</i>	pas séparé (processus) attitudes Cr.3	Elaboration (<i>prise de décision, raisonnement</i>) Ressources (<i>religion, rôle</i>)
Richard	x	x	<i>Oui, car cela a pu leur donner davantage de ferveur pour comprendre le monde, pour s'approcher de la connaissance de Dieu (motivation). Mais non, car cela ne leur empêche pas d'avoir l'esprit scientifique</i>	séparé Compatible (processus) Cr.4	Visées (<i>comprendre le monde, s'approcher de la connaissance de Dieu</i>) Attitude (SDim affective, <i>donner davantage de ferveur, esprit scientifique</i>)
Mary	x	x	<i>Pour certain comme Ptolémée, la croyance faisait qu'il refusait toute explication qui s'opposait à la religion. D'autres ont réussi à passer outre.</i>	séparé Rejet Conflit Cr.2	Attitude + visées pour explication qui s'opposait à la religion
Mathieu	x		<i>Ils ont été aveuglés par la religion expliquant tout ce qu'ils n'arrivaient pas à expliquer par Dieu et durant des siècles les mentalités étaient bloquées sur une théorie à cause de la religion</i>	Conflit blocage Cr.2	Société + communauté Les deux : on en sait pas de qui il parle (mentalités) Temps (durant des siècles) ancrage culturel Attitudes (<i>aveuglés</i>) Ressources (<i>Dieu</i>)
Lucile		x	<i>Tout dépend s'ils peuvent séparer leurs croyances de leurs activités scientifiques</i>	Tout dépend Cr.4	Attitudes
Emeric	x		<i>Le doute sur leur résultat les a ralenti dans leur recherche</i>	Ralenti les recherches Cr.2	Temps (<i>les a ralenti dans leur recherche</i>) Attitudes (<i>doute</i>)
Mélissa		x	<i>Ces scientifiques ne se réfèrent pas tous aux écrits. Ils étaient croyants, mais ne mêlaient pas leur avis religieux dans leurs idées scientifiques</i>	Séparé Compatible Cr.4	Ressources (<i>les écrits, interpréter comme écrits religieux, c'est la part de subjectivité vu le contexte dans lequel nous travaillons</i>) Attitudes (<i>SS dim rapports entre composantes, catégorie coexistence possible</i>)
Benjamin	x	x	<i>D'un côté, le fait qu'ils aient été croyants n'a pas influencé leur travail, mais le pouvoir de l'Eglise a conduit certains à renier leurs théories</i>	Séparé Cr.4 Conflit Rejet (Église)	Société (<i>pouvoir de l'Église</i>) Attitudes (<i>certains à renier leurs théories</i>)
Marine	x		<i>La vision du monde selon l'Église et selon la science est différente à l'époque. Pour un scientifique croyant leur religion peut avoir une influence dans le sens où ils considèrent la vision religieuse comme vraie</i>	pas séparé (résultats) Cr.3	Société (<i>selon l'Église</i>) Temps (<i>à l'époque</i>) Attitudes (<i>peut avoir une influence</i>) Visées (<i>caractéristiques générales, rapport à la réalité</i>)

Rudy	x	<i>Pour certains scientifiques comme Ptolémée, mélange ou plutôt associe la religion avec la science, donc la religion l'influence. Pour des scientifiques comme Copernic, il arrive parfaitement à dissocier les deux</i>	Influence ou pas — Dépend des personnes Cr.4	Société (religion) Attitudes (l'influence)
Yasser	x		Cr.0	
Matthieu	x	<i>Non, car ils arrivaient à séparer les deux</i>	Compatible Cr.4	Attitudes
Manon	x	<i>Si deux scientifiques ont une croyance différente, leurs travaux peuvent être différents, ils peuvent ne pas être d'accord entre eux</i>	pas séparé Cr.3	Communauté (ils peuvent ne pas être d'accord entre eux)
Clément	x	<i>Même s'ils sont croyants, ils ont un raisonnement scientifique. Ils sont donc prêts à réfuter une théorie si elle paraît fausse</i>	Compatible Cr.4	Communauté (Même s'ils sont croyants, ils ont un raisonnement scientifique.) Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) (fausse)
Quentin	x	<i>Ils ont pu mettre leurs croyances religieuses de côté. Leur travail consistait juste à observer et à faire des théories grâce à leurs observations et non à leurs croyances</i>	Compatible Cr.4	Attitudes (Ils ont pu mettre leurs croyances religieuses de côté) Elaboration (Leur travail consistait juste à observer et à faire des théories grâce à leurs observations)
Fanny	x	<i>Le fait d'être croyant n'empêche pas d'être scientifique, mais le fait de se baser sur des théories déjà établis influence leurs travaux s'ils n'ont pas d'autres éléments pour les contredire</i>	influence Cr.3	Attitudes (influence leurs travaux)
Jérémy	x	<i>Certains revoyaient leur théorie ou arrangeaient leurs résultats pour être en accord avec la doctrine religieuse</i>	pas séparé Cr.3	Attitudes (pour être en accord avec la doctrine religieuse)
Charles	x	<i>Cela peut faire varier les résultats selon la croyance</i>	pas séparé Cr.3	Elaboration
Gersende	x	<i>Ils avaient des présupposés, s'ils n'en n'ont pas fait abstraction, ils ont influencé leur jugement</i>	pas séparé Cr.3	Visées
Antoine	x	<i>Certaine théorie sont basé sur Dieu, le mouvement parfait des planètes, la Terre au centre de l'Univers</i>	influence Cr.3	Ressources (basé sur Dieu)
Nolwenn	x	<i>Cela a pu avoir une influence sur leur travail en tant que scientifique, car on est tous plus ou moins influencer par ce qu'on croit. Donc forcément, le fait qu'ils étaient croyant influence leur travail, mais de là à ce que ça soit une grande influence, je ne pense pas</i>	influence Cr.3	Attitudes (Cela a pu avoir une influence sur leur travail en tant que scientifique, car on est tous plus ou moins influencer par ce qu'on croit)
Pierre-Louis	x	<i>La religion correctement interprétée n'interfère pas avec la science</i>	Compatible Cr.4	Société (La religion correctement interprétée)
Jimmy	x	<i>Sur le fait que c'est Dieu qui a tout créé</i>	influence Cr.3	Société (Dieu qui a tout créé)
Shanon	x	<i>Non, car sinon, il serait difficile de faire la différence entre la religion et les sciences</i>	Compatible Cr.4	Société (la religion)
Sacha	x	<i>Certains scientifiques religieux voulaient que le système soit géocentrique et pouvait donc parfois tout faire pour le prouver et que l'œuvre de(s) Dieu(x) était parfaite</i>	influence Cr.3	Société (l'œuvre de(s) Dieu(x) était parfaite) Communauté (Certains scientifiques religieux) Objet

Justine	x		<i>Parce qu'ils croient en quelque chose et quand ils remarquent qu'ils ont un doute, ils vont tout faire pour voir si cela est juste sans pouvoir être réfuté ou au contraire tout faire pour montrer que c'est une erreur</i>	influence Cr.3	Attitudes (<i>Parce qu'ils croient en quelque chose et quand ils remarquent qu'ils ont un doute, ils vont tout faire</i>) Visées (<i>montrer que c'est une erreur</i>)
Blandine	x		<i>Cela peut avoir une grande influence, car les théories développées par ces scientifiques sont dirigés à correspondre leur propre croyance, à les confirmer. Cependant, cela ne suffit pas à dire que la religion est le seul facteur qui rentre en jeu, de plus cela n'a pas la même influence selon les personnes</i>	Grande influence Cr.3	Société (<i>la religion est le seul facteur</i>) Attitudes (<i>de plus cela n'a pas la même influence selon les personnes</i>)
Mélissa	x	x	<i>Certains savent faire la part des choses entre ce qui est scientifique et ce qui est religieux. Tandis que d'autres vont tout de même être influencé par leur croyance</i>	Font la part des choses Cr.4	Communauté (<i>Certains</i>) Attitudes (<i>faire la part des choses entre ce qui est scientifique et ce qui est religieux</i>)
Inès	x		<i>Une personne croyante ou non croyante peut sans doute s'appuyer sur des choses différentes et avoir une vision plus fermée ou plus ouverte sur la science</i>	pas séparé Cr.3	Attitudes (<i>avoir une vision plus fermée ou plus ouverte sur la science</i>)

4. Cet exemple célèbre de l'astronomie vous montre que les sciences sont en perpétuelle évolution, cela signifie-t-il que Ptolémée (par exemple) était dans l'erreur ? Si oui peut-il être encore selon vous considéré comme un scientifique ?

Élève	Err Sc		Réponse	Dimensions de la NoS	Type de raist
	o	n o n			
Julien	x		<i>Il n'est pas forcément dans l'erreur même s'il a été démontré qu'il avait tort. Il pensait qu'il avait raison, il ne possédait pas toute les données</i>	Temps « science du présent » Pas de comparaison explicite avec réalité Attitudes (Il pensait qu'il avait raison) Ressources incomplètes (il ne possédait pas toute les données)	connu
Nacer	x	x	<i>La Terre n'est pas et n'était pas au centre de l'Univers. Oui, car il a proposés des idées importantes</i>	Objet (La Terre) Temps (n'est pas et n'était pas) Produits (il a proposés des idées importantes)	Connu + apport
Richard		x	<i>Ptolémée était dans l'erreur certes, mais pas totalement, il s'est juste trompé de référentiel sinon ses calculs étaient justes</i>	Visées : caractéristiques générales, rapport à la réalité (tromper/justes)	
Mary	x	x	<i>Un scientifique cherche à expliquer des phénomènes naturels, il peut être dans l'erreur, il reste un scientifique</i>	Visées (Un scientifique cherche à expliquer des phénomènes naturels)	
Mathieu	x	x	<i>Oui, car ce n'est pas comme il le disait que l'univers est, mais avec les moyens et connaissances de l'époque, il ne pouvait penser que ça.</i>	Objet (ce n'est pas comme il le disait que l'univers est) Ressources incomplètes + Temps (mais avec les moyens et connaissances de l'époque)	connu répond uniquement à la première question-réponse brute est oui réponse argumentée est oui et non
Lucile	x	R R	<i>Il était dans l'erreur, mais son raisonnement a aussi permis aux sciences d'évoluer</i>	Produits (son raisonnement) Temps (permis aux sciences d'évoluer)	apport
Emeric		x	<i>Ces résultats et ses démarches étaient corrects, il défendait ces religions</i>	Produits (Ces résultats) Société (défendait ces religions) Elaboration (ses démarches étaient correctes)	
Mélissa	x	x	<i>Il peut encore être considéré scientifique, car même si c'était une erreur, il a quand même fait beaucoup de recherche pour se faire l'idée de la théorie du géocentrisme</i>	Elaboration (il a quand même fait beaucoup de recherche) Produits (pour se faire l'idée de la théorie du géocentrisme)	apport
Benjamin	x	x	<i>Ptolémée croyait des choses qui se sont révélées inexactes (même par l'observation) Il peut bien sûr être considéré comme scientifique, car même ceux après lui ont été dans l'erreur et mêmes les théories actuelles ne sont pas sûre</i>	Temps (Ptolémée croyait des choses qui se sont révélées inexactes) Produits (mêmes les théories actuelles) Visées (ne sont pas sûre)	connu

Marine	x	-	-	-
Rudy	x	x	<i>Ptolémée avait tort, mais il reste néanmoins scientifique. Être scientifique ne veut pas dire qu'on n'a pas le droit à l'erreur</i>	Tautologique (reprend la question)
Yasser	x	R	R	
Matthieu	x			Ressources (les idées scientifiques) Temps (de l'époque)
Manon	x	x	<i>Sa théorie était fautive a été refusé par plusieurs autres scientifiques. Mais il peut toujours être considéré comme un scientifique, car il a pu élaborer et chercher une théorie valable à cette époque</i>	Communauté (a été refusé par plusieurs autres scientifiques) Elaboration (car il a pu élaborer et chercher une théorie valable) Temps (à cette époque)
Clément	x	x	<i>Il était dans l'erreur, car ce qu'il essayait d'expliquer n'était pas la réalité. Il est toujours considéré comme un scientifique, car il tentait d'expliquer un phénomène par une démarche scientifique</i>	Elaboration (il tentait d'expliquer un phénomène par une démarche scientifique)
Quentin	x		x	Attitudes (a mis ses croyances religieuses en avant pour élaborer sa théorie. Non, car il n'a fait aucune observation. Il n'a fait sa théorie que par ses croyances)
Fanny	x	x	<i>Il était dans l'erreur, mais il n'avait aucun élément pouvant contredire sa théorie donc, oui, il peut encore être considéré comme un scientifique</i>	Ressources incomplètes (l'erreur, mais il n'avait aucun élément pouvant contredire sa théorie)
Jérémy	x	x	<i>Il était dans l'erreur, mais son raisonnement était logique compte tenu des informations dont il disposait. Oui, il peut encore être considéré comme un scientifique, car un scientifique peut faire des erreurs</i>	Produits (raisonnement était logique) Ressources incomplètes (compte tenu des informations dont il disposait)
Charles	x			Ressources Temps Produits
Gersende	x			Communauté Produits
Antoine	x	?	?	Elaboration Visées : Rapport à la réalité (faux)
Nolwenn	x			Communauté Temps
Pierre-Louis	x	x	<i>Oui il était dans l'erreur. Mais il a le mérite d'avoir réfléchi et proposé une explication malgré le carcan moral de son époque. C'est toujours un scientifique</i>	Elaboration Société Temps
Jimmy	x	R	R	Ça arrive à tout le monde de faire des erreurs même au plus grand

Shanon	x	x	<i>Je pense que même s'il était dans l'erreur, il sera toujours considéré comme un scientifique. Cependant, je ne pense pas qu'il était dans l'erreur, car d'autres physiciens peuvent s'appuyer sur ses idées</i>	Communauté Elaboration Produits
Sacha	x	x	<i>Il était dans l'erreur, car il voyait la Terre au centre de l'Univers et s'était trompé sur le mouvement des planètes. Mais il peut toujours être considéré comme un scientifique, car imaginer un mouvement des planètes, c'est déjà pas mal.</i>	Objets Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) tromper
Justine		x	<i>Pou lui c'était juste et on y a cru pendant un certain temps. On n'a pas prouvé que ce qu'il disait était faux, mais on a trouvé une autre théorie qui était mieux expliquée et qui semblait plus juste.</i>	Produits Temps Visées Rapport à la réalité (faux)
Blandine	x		<i>La science est fait pour être tout le temps remise en question, les théories de Ptolémée sont défendables si on prend en considération les moyens et les idées de l'époque. On ne peut juger un scientifique vivant avant Jésus-Christ avec notre regard de citoyen vivant au XXIe siècle</i>	Visées Temps Produits Ressources
Mélissa	x		<i>Non, car sans Ptolémée, les scientifiques n'auraient sûrement pas trouvé, puisque c'est en remettant en cause plusieurs théories qu'ils ont fini par trouver</i>	Visées Elaboration Communauté Produits
Inès	x		<i>Non, Ptolémée n'était pas dans l'erreur, car c'est le modèle géocentrique qui était affirmé comme vrai. C'est seulement lorsqu'on a réfuté ce modèle pour celui de l'héliocentrisme</i>	Visées Ressources Produits

5. Cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ?

Élève	O	N	Pourquoi ?	Type de raist	Obs/théorie/acti	réalité	Dimensions de la NoS
Julien	x		<i>Il est important d'observer pour éviter de se tromper ou d'être remis en question</i>	Obs./th : Pas de démarche	Obs.0	+	Elaboration (activités, pratique) Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) <i>tromper</i> Communauté (<i>remis en question</i>)
Nacer	x		<i>Un scientifique n'est pas seulement basé sur l'observation</i>	Obs./th : D'autres activités (non précisées)	Obs.3	0	Elaboration
Richard	x		<i>C'est l'observation qui permet bien souvent de distinguer la vérité scientifique, lors de confrontation de deux lois différentes ou un même sujet</i>	Obs./th : Observation comme moyen de validation	Obs.2	+	Elaboration (activités, pratique et théorique) Visées : (<i>distinguer la vérité</i>)
Mary	x		<i>L'observation ne nous permet pas d'expliquer un phénomène, elle peut nous tromper</i>	L'observation est perçue négativement	Obs.0	-	Elaboration Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) <i>tromper</i> + <i>expliquer un phénomène</i>
Mathieu		x	<i>On en avait déjà parlé en philosophie</i>		Obs.0	0	
Lucile	x		<i>Car on ne peut pas s'y fier</i>		Obs.0	-	
Emeric	x		<i>Il faut observer toute les caractéristiques pour être sûr de ne rien louper</i>	Obs./real : Interprétation : le problème de la simplification de la réalité (modèle= réalité, tout prendre) Vérité/erreur : (+)	Obs.1	+	Elaboration (activités, pratique, règles) Visées (rapport du modèle à la réalité) Il dit quelque chose sur la façon d'observer
Mélissa	x		<i>Un scientifique n'est pas seulement basé sur l'observation</i>	Implicitement il y a autres choses : quid théorie ?	Obs.3	0	Elaboration
Benjamin		x	<i>L'observation permet de faire évoluer les théories</i>		Obs.3	+	Ressources (<i>observation</i>) Produits (<i>théorie</i>)
Marine	x		<i>C'est en observant que Ptolémée s'est trompé dans sa théorie</i>	Difficile à classer : elle semble remettre en question le 1	Obs.0	-	Elaboration (activité, démarche)
Rudy	x		<i>On n'observe pas le phénomène en lui-même, mais des résultats</i>	Distinction phénomène et résultats	Obs.0	d	Objets et Produits
Yasser	x		-		Obs.0	0	
Matthieu	x		<i>En réalité,</i>	Obs./th :	Obs.2	d	Ressources et Produits

		<i>l'observation se base déjà à partir d'une théorie</i>	observation pas neutre			Visées : observation ancrée dans la théorie
Manon	x	<i>L'observation n'est pas la chose primordiale dans l'élaboration du savoir scientifique. Un scientifique n'observe pas avant d'élaborer sa théorie, car l'observation peut être différente pour chacun d'entre nous</i>	Obs./th : Théorie prime Obs./real : Caractère subjectif Obs. ne dit pas la réalité	Obs.2	0	Elaboration (activités, démarche) Attitudes (<i>car l'observation peut être différente pour chacun d'entre nous</i>)
Clément	x	<i>On a toujours prétendu que c'était l'observation qui arrivait à la théorie (comme l'exemple de Newton et de la pomme) alors que c'est totalement faux</i>	Obs./th : Théorie prime	Obs.2	0	Ressources Produits Communauté (<i>l'exemple de Newton</i>)
Quentin	x	<i>Il faut toujours faire des observations pour pouvoir prouver une théorie</i>	Obs./th : validation	Obs.2	0	Elaboration (<i>pour pouvoir prouver une théorie</i>)
Fanny	x	<i>Ce que l'on voit ne reflète pas forcément la réalité</i>	Obs./real	Obs.0	d	Visées (<i>la réalité</i>)
Jérémy	x	<i>Ils ont été plusieurs grands scientifiques à observer la même chose, et pourtant il y a beaucoup de visions différentes pour l'expliquer</i>	l'idée est qu'il y a une chose que l'on voit, mais plusieurs explications	Obs.0	d	Communauté (<i>plusieurs grands scientifiques</i>) Attitudes (<i>beaucoup de visions différentes pour l'expliquer</i>) Objets (<i>à observer la même chose</i>)
Charles	x	<i>Il faut toujours avoir un point de vue observateur sur ce que l'on veut démontrer</i>	Obs./th : observateur	Obs.1	0	Elaboration
Gersende	x	<i>Pour moi, il est quand même nécessaire d'observer, l'interprétation des données est ensuite personnelle, mais on ne peut avoir de données sans observations</i>	Obs./th : Observation prime	Obs.1	d	Elaboration (<i>il est quand même nécessaire d'observer</i>) Attitudes (<i>personnelle</i>)
Antoine	x	-		Obs.0	0	
Nolwenn	x	<i>On s'aperçoit que l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique n'est qu'en réalité une observation neutre même si on a souvent tendance à</i>		Obs.1	d	Elaboration contradiction/ <i>regarder les autres réponses</i>

		<i>interpréter ce que l'on voit</i>				
Pierre-Louis	x	<i>C'est l'observation de plus en plus précise, assortie d'une bonne réflexion qui mène à la théorie la plus exacte (jusqu'à ce qu'une autre la remplace)</i>	Obs./th : Observation	Obs.1	0	Elaboration Attitudes
Jimmy	x	<i>Pas besoin d'observer pour élaborer une théorie</i>	Obs./th	Obs.4	0	Elaboration
Shanon	x	<i>(répondu en question 1) J'ai pu mieux comprendre les notions de théories/expériences</i>	Obs./th	Obs.0	0	
Sacha	x	<i>Chacun peut voir ce qu'il veut dans une observation et il y a plein d'autres facteurs derrière cette élaboration</i>		Obs.3	d	Elaboration
Justine	x	<i>Parce qu'en effet pour savoir ce que l'on observe, il faut déjà en avoir entendu parler. Mais ça ne veut pas dire que l'on va l'approuver et l'interpréter de la même manière</i>		Obs.2	d	Elaboration
Blandine	x	<i>C'est une idée reçue que de croire de l'élaboration du savoir scientifique se base sur l'observation dont je ne passe pas outre. Cela permet à reconsidérer toutes mes certitudes. « un homme intelligent est un homme rempli de doute » Cela veut dire qu'avec plus de doute, on garde l'esprit ouvert, prêt à toutes éventualités qui pourraient révolutionner notre vision du monde « ce que je sais, c'est que je ne sais rien » Socrate</i>	Obs./th	Obs.2	0	Elaboration (C'est une idée reçue que de croire de l'élaboration du savoir scientifique se base sur l'observation dont je ne passe pas outre.) Attitudes (Cela veut dire qu'avec plus de doute, on garde l'esprit ouvert, prêt à toutes éventualités qui pourraient révolutionner notre vision du monde)
Mélissa	x	<i>L'observation était plus important pour moi et c'était à</i>	Obs./th	Obs.2	0	Elaboration (c'était à partir de ça qu'on déduisait les théories)

		<i>partir de ça qu'on déduisait les théories, or, non les scientifiques ont déjà des idées avant d'observer</i>					Communauté (les scientifiques)
Inès	x	<i>En effet, je pensais qu'il fallait observer pour pouvoir établir une hypothèse puis une théorie. Mais avant cela c'est par nos connaissances que l'on peut établir une théorie sur ce que l'on observe</i>	Obs./th	Obs.2	0	Elaboration (<i>peut établir une théorie sur ce que l'on observe</i>) ; Produits (<i>une hypothèse</i>)	

6. Est-ce qu'il vous semble important de réfléchir sur ce qu'est l'activité scientifique ? Ne peut-on pas considérer que vous aviez vous-même une forme de présupposé vis-à-vis de l'activité scientifique elle-même ?

Élève	o	n	Question 1 : réfléchir	o	n	Question 2 : présupposé	Dimensions de la NoS
Julien	x			x			
Nacer							
Richard	x		<i>Il est important pour nous qui travaillons les sciences d'en savoir son essence et du comment travailler en science. Il faut savoir être ouvert et non dogmatique en science pour aller plus loin.</i>	x		<i>On a forcément des préjugés, car qui nous dit que nos connaissances actuelles ne sont pas en partie fausses. Notre esprit actuel conçoit le monde sous une forme de modèle, qui dit modèle, dit simplification de la réalité</i>	Produits ; Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) faux
Mary		x		x		<i>Je pensais que l'observation était importante</i>	Elaboration
Mathieu	x			x		<i>Il ne faut jamais être sur de ses théories même si tout paraît concordant tant qu'on ne l'a pas prouvée</i>	Visées
Lucile	x		<i>Oui, on se base sur des théories déjà établies</i>	x			Visées
Emeric		x	<i>J'ai déjà du mal à comprendre</i>		x		
Mélissa	x			x		-	
Benjamin	x		<i>Il est important de donner le but de rechercher la vérité à la science sinon à quoi servirait des connaissances inexactes ?</i>	x		<i>On considère que la science serait capable de tout expliquer ; c'est peut-être faux</i>	Produits ; Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) faux
Marine	x			x		-	
Rudy		x	<i>Non, car il y a des théories plus importante sur lesquelles il faut réfléchir.</i>	x		<i>Oui étant petit et aussi par rapport à l'observation du scientifique.</i>	Visées
Yasser	x			x		-	
Matthieu	x		<i>C'est important, car on ne sait pas d'où viennent ces calculs.</i>	x		<i>On croit que les scientifiques font que des lois à partir de leurs observations</i>	Elaboration ; Communauté
Manon	x		<i>Cela est important, car cela nous concerne tous. Une théorie peut à tout moment être remise en cause.</i>	x		<i>Je peux avoir une forme de présupposé, car le monde que nous connaissons jusqu'à maintenant n'est peut-être pas la réalité. En effet, les scientifiques n'ont pas forcément raison</i>	Communauté ; Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité)
Clément	x		<i>Cela nous concerne. Si nous sommes en S, nous serons impliqués plus tard dans l'activité scientifique</i>	x			Temps
Quentin	x		<i>Oui, car la science peut nous apprendre beaucoup de choses.</i>	x		<i>Avant je supposais que tout ce que la science disait était vrai</i>	Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité)
Fanny	x			x		<i>On se base sur des théories déjà établies</i>	Visées
Jérémy	x		<i>La science permet de mieux comprendre le monde qui nous entoure.</i>	x		<i>Nous pensons connaître le monde qui nous entoure grâce à la science, seulement l'exemple de l'astronomie nous montre bien</i>	Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité)

				<i>que nous pouvons être dans l'erreur</i>	
Charles	x	Oui, il est important de savoir à quoi elle correspond.	x	<i>Oui, nous avons souvent des préjugés sur notre façon de penser sur les scientifiques</i>	
Gersende	x		x	<i>Nous sommes influencés par ce que nous apprenons. Si ça se trouve, encore aujourd'hui les physiciens se trompent</i>	Société ; Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité) tromper
Antoine	x	<i>Il est important de ne pas simplement se laisser guider par les informations qu'on nous donne comme si c'était des vérités absolues. Il est bon de savoir d'où cela provient.</i>	x		Visées (caractéristiques générales, rapport à la réalité)
Nolwenn	x	Cela peut être important afin de mieux savoir ce que c'est	x		Visées
Pierre-Louis	x		x	<i>Pour mener à bien l'activité scientifique, il faut savoir en quoi elle consiste</i>	Elaboration
Jimmy	x	<i>Non, c'est trop compliqué, ça ne m'intéresse pas.</i>	x		
Shanon	x	Oui c'est important de réfléchir sur ce qu'est l'activité scientifique, car l'histoire, dont l'homme devrait s'intéresser et s'investir	x		Temps
Sacha	x	<i>Les sciences regroupent philosophie et calcul, 2 activités difficiles à développer.</i>	x	<i>Je ne pense pas avoir de présupposés, car je ne m'y connais pas encore assez. J'apprends ce qu'on me montre : des calculs simples... Mais je n'ai pas encore un regard philosophique sur la question</i>	Visées
Justine	x	Parce que je trouve ça important de savoir sur quoi on se base pour ce que l'on apprend.	x	<i>On ne connaît pas la façon de procéder des scientifiques, donc effectivement on imagine.</i>	Elaboration
Blandine	x	Il est très important d'y réfléchir, car beaucoup d'idées reçues, de stéréotypes règnent autour de la science et des scientifiques : il faut s'en affranchir.	x	<i>On fait tous partie — au moins une fois dans notre vie — de ces personnes qui ont des stéréotypes sur certaines idées. Croire que le scientifique a toujours raison est que la science est LA vérité (pas le Tps de développer à mon plus grand regret)</i>	Temps ; Attitude ; Visées
Mélissa	x	<i>On doit savoir le savoir scientifique</i>			
Inès	x	Oui c'est important. En effet, l'activité scientifique nous permet de comprendre le monde qui nous entoure.	x	<i>Nous possédons tous un présumé vis-à-vis de l'activité scientifique. C'est à chacun de nous de le développer</i>	Visée

Annexe 3 : Les réponses au questionnaire n°3

1. Selon vous, à qui doit-on attribuer la découverte de la planète Neptune ? Que doit-on en déduire du rôle de la théorie et de l'observation en science ?
2. Pourquoi les scientifiques alors qu'ils ne trouvent pas la planète cherchent-ils à tout prix à proposer d'autres hypothèses compatibles avec ce phénomène plutôt que de remettre en question les conclusions de la théorie de Newton ?
3. Cette volonté de ne pas remettre en cause la théorie de Newton est-elle complètement rationnelle ?
4. La vraie démarche scientifique ne serait-elle pas plutôt dans l'attitude qui interroge les théories existantes plutôt que dans celle qui cherche à les préserver à tout prix ?

1. Selon vous, à qui doit-on attribuer la découverte de la planète Neptune ? Que doit-on en déduire du rôle de la théorie et de l'observation en science ?

Élève	Réponse
Julien	<i>À Le Verrier, car il a fait l'hypothèse et en l'appliquant plus tard par Galle, il découvre la planète Neptune. La théorie a un rôle important, car, sans elle, les chercheurs n'observeraient pas certaines choses</i>
Nacer	<i>À l'astronome Le Verrier. Que celle-ci n'est pas toujours exacte. Une planète peut être cachée derrière une autre comme avec Uranus</i>
Richard	<i>Les observateurs qui ont vu qu'il y avait un problème dans les calculs de trajectoires d'Uranus, car ce sont eux les initiateurs de la recherche. La théorie et l'observation sont complémentaires, l'un ne va pas sans l'autre dans la recherche de la compréhension du monde</i>
Mary	<i>Selon moi, la découverte de Neptune est à attribuer à Le Verrier. En effet, il ne suffit pas de mettre en place les calculs des autres pour avoir tout le mérite, je pense que c'est celui qui cherche et trouve des résultats qui est à l'origine d'une découverte</i>
Mathieu	<i>La découverte revient à mon sens à Galle, car c'est lui qui l'a découverte. Mais une part doit aller à Le Verrier, car c'est lui qui a le premier exposé cette hypothèse et démontré mathématiquement. On peut en déduire que l'observation et la théorie sont tout deux indispensables à la validation d'une hypothèse</i>
Lucile	<i>À Galle grâce aux travaux de Le Verrier. Il ne faut pas toujours se fier aux observations, aux théories. Cependant, elles peuvent être utiles.</i>
Emeric	<i>Le Verrier, c'est le premier à faire l'hypothèse d'une autre planète.</i>
Mélissa	<i>On doit attribuer cette découverte à Le Verrier qui malgré les observations faites ne rejette pas la théorie de Newton. L'observation en science n'est donc pas essentielle, mais s'appuie sur la théorie.</i>
Benjamin	<i>On doit l'attribuer à Galle, car une théorie peut se révéler fautive, mais l'observation confirme que la théorie est juste</i>
Marine	<i>On doit attribuer la découverte de la planète Neptune à Le Verrier. La théorie : de penser, d'analyser et d'entreprendre. L'observation : permet de vérifier si la théorie est vraie</i>
Rudy	<i>Le Verrier, puisqu'il arrive à calculer la masse de Neptune et sa trajectoire. La théorie prime sur l'observation.</i>
Yasser	<i>Newton. Il faut une théorie puis une observation juste pour valider un phénomène</i>
Matthieu	<i>On attribue la découverte de la planète Neptune à Le Verrier. La théorie explique la plupart des observations. Elle leur donne un sens, une logique. Elle permet de faire des liens.</i>
Manon	<i>Selon moi, la découverte de la planète Neptune devrait être attribuée à Galle grâce à ses recherches</i>
Clément	<i>On la doit à Le Verrier. On en déduit que la théorie est plus importante que l'observation.</i>
Quentin	<i>On la doit à Le Verrier, car c'est lui qui a émis l'hypothèse de l'existence d'une nouvelle planète. La théorie doit être d'abord proposée pour pouvoir ensuite observer</i>
Fanny	<i>À Galle grâce aux travaux de Newton et de Le Verrier. Même s'il ne faut pas se fier aux observations pour établir des théories, elles sont quand même utiles pour les réfuter ou les valider</i>
Jérémy	<i>Au physicien Galle. L'observation est plus importante que la théorie.</i>
Charles	<i>À l'astronome Français Le Verrier. On peut en déduire qu'il avait raison, que ça a été prouvé par la</i>

	<i>suite</i>
Gersende	<i>Aux deux scientifiques. L'un n'aurait pas réussi sans l'autre et s'il n'y avait pas eu le premier, le deuxième n'aurait pas forcément cherché. L'observation reste importante</i>
Antoine	<i>A le Verrier, car il a déterminé l'emplacement exact de la planète. L'observation à permis de prouver de manière sure son hypothèse</i>
Nolwenn	<i>On doit attribuer la découverte de la planète Neptune à Galle et Le Verrier. On peut en déduire que les deux sont compatibles</i>
Pierre-Louis	<i>Grâce à l'observation, Le Verrier a découvert la présence théorique de Neptune. On peut dire que Le Galle et Le Verrier partagent la découverte de Neptune. L'un a indiqué où chercher, l'autre a trouvé.</i>
Jimmy	<i>C'est Le Verrier. On peut en déduire que la théorie et l'observation sont complémentaires</i>
Shanon	<i>Nous devons attribuer la découverte de la planète Neptune au physicien Galle et à l'astronome français Le Verrier. On peut en déduire que le rôle de la théorie passe avant tout l'observation en science (d'abord les calculs de le Verrier, puis l'observation du physicien Galle, confirment alors l'hypothèse de l'astronome français)</i>
Sacha	<i>On le doit à Le Verrier qui malgré les contradictions des Lois de Newton était convaincu que ces lois étaient vraies et fit tout pour le prouver. Newton y joue bien sûr un grand rôle. Les deux théories se complètent, car une peut avoir à confirmer l'autre, dans les deux sens</i>
Justine	<i>Le Verrier, car c'est lui qui a remarqué l'anomalie. L'observation en sciences sert à répondre à un problème.</i>
Blandine	<i>Nous devons attribuer la découverte de Neptune aux deux scientifiques : Le Verrier et Galle. Ce n'est pas un seul qui l'a découverte, car sans les calculs de Le Verrier, Galle ne l'aurait pas trouvée et sans l'observation de Galle l'hypothèse de Le Verrier resterait sans doute qu'une hypothèse. Donc on peut en déduire que la théorie et l'observation sont complémentaires.</i>
Mélissa	<i>On doit attribuer la découverte de la planète Neptune à l'astronome français Le Verrier. On établie d'abord une théorie, car si Le Verrier n'avait pas fait l'hypothèse d'une nouvelle planète, le physicien Galle n'aurait pas dirigé son télescope dans la direction qu'avait prédit Le Verrier</i>
Inès	<i>On attribue la découverte de la planète Neptune à Newton. La théorie permet d'amener le scientifique à observer et à finalement en conclure si la théorie doit être remise en cause.</i>

2. Pourquoi les scientifiques alors qu'ils ne trouvent pas la planète cherchent-ils à tout prix à proposer d'autres hypothèses compatibles avec ce phénomène plutôt que de remettre en question les conclusions de la théorie de Newton ?

Élève	Réponse
Julien	<i>La théorie de Newton a fonctionné bon nombre de fois</i>
Nacer	<i>S'ils remettent en cause la théorie de Newton, toute l'histoire de la gravitation est remise en cause</i>
Richard	<i>Cela reviendrait à devoir proposer une nouvelle théorie remplaçant celle de Newton et devoir tout recommencer à zéro. Or, la théorie de Newton a fait ses preuves, alors pourquoi remettre en question quelque chose qui a été plusieurs fois certifié. La probabilité que la théorie soit fausse est plus faible que le fait qu'il y ait un agent extérieur modifiant l'ordre.</i>
Mary	<i>Pour eux la théorie de Newton était admise et la remettre en question aurait été repartir à zéro</i>
Mathieu	<i>Il est sûrement plus simple de chercher d'autres hypothèses que de trouver une loi universelle de gravitation et surtout de la faire admettre</i>
Lucile	<i>Car cette théorie est compatible pour les autres planètes</i>
Emeric	<i>Pendant des années les scientifiques se sont basés sur la théorie de Newton, donc remettre en question cette théorie remettrait en question toute les recherches de leur époque. Chercher une hypothèse leurs faciliterait la vie.</i>
Mélissa	<i>S'ils remettent en question la théorie avant d'avoir chercher d'autres hypothèses compatibles, ils pourraient passer à côté de la théorie exacte.</i>
Benjamin	<i>Le phénomène s'est vérifié précédemment</i>
Marine	<i>Parce que sinon ça remettrait en cause tout ce qui a été découvert avec la théorie de Newton</i>
Rudy	<i>Ils essaient d'avancer, tout peut être possible, sachant que Newton était un grand physicien</i>
Yasser	<i>Sinon, toutes leurs observations sont fausses</i>
Matthieu	<i>Ils préfèrent proposer d'autres hypothèses plutôt que de remettre en cause une théorie qui semble fonctionner avec toutes les autres observations. L'expression de « l'exception confirme la règle » est leur favorite apparemment</i>
Manon	<i>Les scientifiques ne cherchent pas à remettre en question la théorie de Newton, car pour eux cette théorie est vraie. De plus, grâce à cette théorie, ils ont pu calculer la trajectoire des sept planètes existantes à l'époque</i>
Clément	<i>Cette théorie fonctionne avec toutes les autres planètes et ce n'est pas dû au hasard</i>
Quentin	<i>Ils cherchent d'autres hypothèses, car la théorie de Newton fonctionne pour toutes les autres planètes, donc il doit y avoir une explication pour qu'elle ne fonctionne pas pour Vulcain</i>
Fanny	<i>Cette théorie a été validée pour les autres planètes</i>
Jérémy	<i>Les lois de Newton permettaient d'expliquer et de calculer les trajectoires des autres planètes.</i>
Charles	<i>La théorie de Newton à fonctionné pour toutes les autres planètes. Donc c'est forcé qu'elle fonctionne aussi dans ce cas</i>
Gersende	<i>Sinon il aurait fallu tout remettre en cause, y compris la dernière découverte de Neptune</i>
Antoine	<i>Son théorème a été exact jusqu'alors et il est difficilement envisageable à l'époque de faire naître une meilleur théorie</i>
Nolwenn	<i>Ils cherchent à tout prix à proposer d'autres hypothèses pour pouvoir démontrer si Vulcain serait en</i>

effet capable d'expliquer le décalage entre une planète et le Soleil. Ils ne vont pas remettre en question les conclusions de la théorie de Newton, car ses conclusions, au final, ont été vraies

Pierre-Louis *Ils ont observé une multitude de cas confirmant la théorie de Newton et un seul allant contre. Cela dit, cela a quand même dû faire débat*

Jimmy *Avec la théorie de Newton on a réussi à localiser de nombreuses planètes et donc on pense qu'elle est juste et que si ça ne marche pas c'est qu'il y a d'autre chose qui entre en cause.*

Shanon *Ils veulent connaître la vérité en proposant d'autres hypothèses que de remettre en question la théorie de Newton*

Sacha *La mécanique classique ne pouvait pas expliquer l'incompatibilité de ce phénomène. Si ces lois s'avéraient fausses, tout ce sur quoi on s'appuyait aurait été anéanti.*

Justine *Cela a marché pour Neptune, donc ils se disent que c'est la même chose et que la théorie de Newton est juste*

Blandine *Pour ces scientifiques, il est plus simple de trouver une hypothèse que de démontrer que la théorie de Newton est fausse. De plus, si on se remet dans le contexte de l'époque, il est plus logique dans la tête de ces scientifiques de trouver une explication à ces contradictions que de remettre en cause la théorie de Newton qui à su faire face à une première difficulté de cohérence*

Mélissa *Les scientifiques cherchent à tout prix à proposer d'autres hypothèses compatibles avec ce phénomène, car ils ont peur que toute la théorie de Newton doit être recommencée. Or cette théorie a été approuvée*

Inès *Ils ne remettent pas en cause la théorie de Newton, car elle a en partie permit de découvrir la planète Neptune.*

3. Cette volonté de ne pas remettre en cause la théorie de Newton est-elle complètement rationnelle ?

Élève	Oui	Non	Pourquoi ?
Julien		x	<i>Elle permet de faire avancer la Science. Si on la remet en cause, on fait un pas en arrière</i>
Nacer	x		
Richard		x	<i>Alors oui pour les raisons que j'ai évoquées plus haut. On ajoutera le fait que la recherche avancerait moins vite, si à chaque fois qu'elle fait un pas, elle doit remettre en question ce qu'elle a déjà trouvé. Toutefois, on ne peut pas exclure le fait que tout soit faux. Si cela se trouve, même si ça paraît vrai, la théorie n'englobant pas tout se trompe sur toute la ligne. Il n'est clairement pas tout à fait rationnel de croire en une théorie où il y a un contre exemple</i>
Mary		x	<i>Le fait de ne pas remettre en question une théorie malgré les contradictions peut mener à des théories complètement fausses</i>
Mathieu			<i>D'un côté, il est risqué de ne pas remettre en cause la théorie au risque de faire des tas de recherche basée sur une loi fausse. Mais d'un autre côté, si on remet en question chacune des lois, on n'avancera jamais dans la recherche si on ne considère pas une certaine loi comme juste</i>
Lucile	x		<i>S'ils remettaient en question cette théorie, ils n'auraient plus rien pour expliquer ce phénomène</i>
Emeric	x		<i>Si la théorie fonctionne pour toutes les autres planètes, il suppose qu'il y a des erreurs dans leurs observations</i>
Mélissa		x	<i>Quand une hypothèse ne s'applique pas partout, habituellement on la rejette</i>
Benjamin		x	<i>Toute théorie peut se révéler fausse (démontrer plus tard) au moins en partie.</i>
Marine	x		<i>Oui, car la théorie de Newton est vraie</i>
Rudy	x		<i>Puisque pour remettre en cause la théorie de Newton, il faut des preuves</i>
Yasser		x	<i>Je ne sais pas</i>
Matthieu	x		<i>On préfère rester sur ses acquis plutôt que de tout remettre en question. C'est plus rassurant</i>
Manon	x		<i>La théorie de Newton est complètement rationnelle, car à l'époque cette théorie avait beaucoup de preuves rationnelles. Le fait de ne pas remettre en cause la théorie de Newton ne peut pas être irrationnelle, car cela remettrait en doute toute la science</i>
Clément	x		<i><u>C'est la seule planète</u> dont la théorie ne fonctionne pas. L'anomalie vient donc de la planète, et pas de la théorie</i>
Quentin		x	<i>Cette théorie peut s'avérer fausse si une personne trouve une autre théorie qui est peut-être plus vraie. Mais ce ne sont que des théories, elles peuvent donc être fausses.</i>
Fanny	x		<i>C'est le fait de ne pas la remettre en cause qui les a poussé à chercher d'autres hypothèses ce qui les a mené à trouver Neptune</i>
Jérémy	x		<i>La théorie de Newton permet de mieux comprendre et d'anticiper le mouvement des planètes</i>

Charles	x	<i>Il faudrait tout de même la remettre en cause pour voir s'il ne peut pas y avoir une autre possibilité</i>
Gersende	x	<i>Il aurait très bien pu se tromper dès le début et on aurait pu chercher longtemps avant de trouver une hypothèse convaincante</i>
Antoine	x	<i>Il vaut mieux se reposer sur une théorie inexacte et avancer, plutôt que de devoir tout reprendre au début à chaque difficulté et avancer à tâtons</i>
Nolwenn	x	<i>On pourrait très bien la remettre en question, mais étant donné que ces conclusions sont exactes alors c'est inutile</i>
Pierre-Louis	x	<i>Aucun comportement ne peut être complètement rationnel et la vérité n'est jamais établie. Cela demande du travail (et du génie) de créer un nouveau modèle, on peut être réticent à révoquer l'ancien, qui marche pourtant presque tout le temps</i>
Jimmy	x	<i>Car elle est vraie</i>
Shanon	x	<i>Les scientifiques proposent toujours des hypothèses</i>
Sacha	x	<i>Tout le monde savait que les calculs de Newton fonctionnaient ; ça ne pouvait donc pas être faux.</i>
Justine	x	<i>Quand on essaie de trouver des réponses, on émet toutes sortes d'hypothèses qui seront pour la majorité fausses, mais on cherche dans toutes les directions.</i>
Blandine	x	<i>Ceci n'est pas complètement rationnel, car si on s'interroge sur la définition même de la science, elle est destinée à être remise en question. Toutes nos croyances liées à la science peuvent s'avérer « fausses » ou du moins pas complètement exactes. Il en va de même pour la théorie de Newton qui s'applique dans certain cas, mais pas dans tous</i>
Mélissa	x	<i>Puisque certains physiciens continuent tout de même à chercher</i>
Inès	x	<i>Non, en effet ce n'est pas parce que la loi de Newton a fonctionnée une fois qu'elle ne peut pas être remise en cause dans un autre cas</i>

4. La « vraie » démarche scientifique ne serait-elle pas plutôt dans l'attitude qui interroge les théories existantes plutôt que dans celle qui cherche à les préserver à tout prix ?

Élève	Réponse
Julien	
Nacer	
Richard	<i>L'activité scientifique doit être toujours prête à tout remettre en question, mais pour avancer elle a besoin nécessairement d'axiomes sur lesquels elle peut avancer</i>
Mary	<i>Oui chercher à les préserver à tout prix amène l'erreur. Or l'activité scientifique est de chercher la vérité</i>
Mathieu	<i>L'activité scientifique doit, à mon goût, être le mélange des deux. On ne peut pas rejeter toutes les théories ni toutes les admettre, mais si on les rejette ou les approuve, il faut pouvoir justifier son choix</i>
Lucile	<i>L'activité scientifique doit plutôt interroger les théories existantes, pour que les scientifiques ne soient pas influencer</i>
Emeric	<i>Le rôle du scientifique est de s'interroger sur les théories existantes pour les vérifier et les améliorer</i>
Mélissa	
Benjamin	<i>L'activité scientifique moderne se doit de remettre en cause les théories afin de déterminer si elle sont vraies, fausses ou partiellement vraies.</i>
Marine	<i>L'activité scientifique est dans l'attitude qui interroge les théories existantes pour avancer dans le domaine scientifique</i>
Rudy	<i>Si les théories sont testées pourquoi polémiquer dessus ?</i>
Yasser	<i>Je ne sais pas</i>
Matthieu	<i>Le scientifique doit interroger la nature pour trouver la vérité donc si une théorie ne correspond pas, il est normal de la remettre en question. Plus on découvre de nouvelles choses, plus les différentes théories se rencontrent et font apparaître leur différentes incohérences.</i>
Manon	<i>L'activité scientifique serait plutôt dans l'attitude qui interroge les théories existantes, car le fait de les préserver à tout prix serait contradictoire. Un scientifique cherche à découvrir la réalité donc si les théories existantes ne sont pas remises en cause, alors la réalité ne pourra pas être découverte</i>
Clément	<i>Cela dépend des théories. Si elles fonctionnent parfaitement pour plusieurs choses et qu'elles ne fonctionnent pas pour une, il vaut mieux la préserver. Cependant s'il y a plusieurs incohérences, il vaut mieux en chercher une meilleure</i>
Quentin	<i>Elle serait plutôt à interroger les anciennes théories</i>
Fanny	<i>Le fait de s'interroger sur les théories scientifique amène à réfléchir sur certains phénomènes qui ne correspondent pas aux théories élaborées et donc à chercher de nouvelles hypothèses sans être influencé</i>
Jérémy	<i>Si, car le rôle de la science est de ne pas préserver une théorie si elle se trouve fausse</i>
Charles	<i>Non, chacun à sa façon de penser, chacun peut prouver ce qu'il veut</i>
Gersende	
Antoine	<i>Aucune, il ne s'agit ni de les protéger ni de les infirmer, mais de trouver une théorie qui s'applique la mieux possible à la réalité</i>
Nolwenn	<i>Je ne sais pas</i>

Pierre-Louis	<i>En cherchant à préserver les théories existantes, on peut aboutir à un enchevêtrement de lois et de situations exceptionnelles alors qu'une reconsidération totale pourra aboutir à un modèle plus simple et plus efficace</i>
Jimmy	<i>Si, car il faut toujours mettre à jour avec de nouvelle découverte. Chaque jour, on découvre des choses et certaine découvertes peuvent remettre en cause certaines anciennes théories</i>
Shanon	
Sacha	<i>On cherche la précision. On peut donc découvrir de nouvelles lois ou améliorer les anciennes. Tant que l'on peut prouver les anciennes théories, autant les garder. Vouloir améliorer voire complètement transformer les théories comme l'a fait Einstein est bien sûr un objectif, mais il ne faut pas oublier que si l'on s'appuie sur une théorie comme celle de Newton pour la changer, cette théorie nous a permis de découvrir beaucoup de choses, d'où le fait de ne pas complètement les oublier</i>
Justine	<i>Entre temps on fait des découvertes et puis au cours de l'histoire toutes les théories n'ont pas été gardées et remettre en cause est une façon de vérifier s'il n'y a pas eu d'erreurs ou de trouver mieux (progrès)</i>
Blandine	<i>Je pense que la science c'est avant tout s'interroger que de trouver les réponses (comme la philosophie). Même si un scientifique trouve une loi qui serait « vraie » et applicable. On ne cessera pas les recherches scientifiques pour autant. « Un homme intelligent est un homme rempli de doute que de certitudes » Cela laisse une grande ouverture d'esprit.</i>
Mélissa	<i>Oui, car si on cherche à les préserver à tout prix, il est possible de passer à côté de beaucoup de chose. Alors que quand on s'interroge sur les théories existantes, on cherche à savoir aussi le pourquoi du comment.</i>
Inès	<i>Oui en effet le scientifique devrait se poser la question si les théories qui ont été anciennement établies sont compatibles, vraisemblables, ou si elle doit être remise en cause. Au lieu de vouloir les conserver, on doit tout remettre en cause et chercher le vrai du faux</i>

Table des illustrations : Figures

Figure 1 : registre de modèles et registre du référent empirique (Martinand, 1995, p.7)	81
Figure 2 : l'activité de modélisation fondée sur des présupposés (Maurines, 2010, p.359).....	92
Figure 3 : La mise en relation des modèles et des objets et événements (Coince <i>et al.</i> , 2008, p.7).	100
Figure 4 : analogie de la ligne (<i>République</i> , VI).....	121
Figure 5 : modèle géocentrique du système solaire d'Aristote (Chareix, 2001, p.15).....	133
Figure 6 : modèle à épicycles (Simaan et Fontaine, 1999, p.33).....	136
Figure 7 : excentrique fixe (Simaan et Fontaine, 1999, p.41).....	137
Figure 8 : excentrique mobile (Chareix, 2001, p.22).....	137
Figure 9 : le point équant (Simaan et Fontaine, 1999, p.41)	138
Figure 10 : modèle héliocentrique du système solaire de Copernic (Chareix, 2001, p.26).....	140
Figure 11 : modèle géohéliocentrique du système solaire de Brahé (Chareix, 2001, p.25)	144
Figure 12 : évolution de la séquence	156
Figure 13 : exemple de documents sur Aristote et Ptolémée	158
Figure 14 : Les résultats des élèves au baccalauréat (N=30)	180
Figure 15 : Répartition des élèves ayant obtenu le baccalauréat en pourcentage (N=24).....	181
Figure 16 : selon vous, quels arguments ont été avancés par les scientifiques au XVI ^e -XVII ^e siècle en faveur de l'héliocentrisme ? (N=30).....	183
Figure 17 : selon vous, quels arguments ont été avancés par les scientifiques au XVI ^e -XVII ^e siècle en faveur de l'héliocentrisme ?.....	185
Figure 18 : est-ce que d'après vous un bon physicien est quelqu'un qui observe d'abord ? (N=30)	188
Figure 19 : la répartition des dimensions	191
Figure 20 : deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ?.....	193
Figure 21 : deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ?.....	197
Figure 22 : lorsqu'une explication est mise en défaut par une observation est-elle abandonnée par les physiciens ? (N=30)	200
Figure 23 : lorsqu'une explication est mise en défaut par une observation est-elle abandonnée par les physiciens ?.....	204

Figure 24 : quand deux explications permettent de rendre compte du même phénomène, que font les physiciens ?.....	213
Figure 25 : peut-on être scientifique et croyant ?.....	215
Figure 26 : les dimensions évoquées à la question « <i>peut-on être scientifique et croyant ?</i> ».....	218
Figure 27 : distribution de fréquences des dimensions du 1er questionnaire.....	221
Figure 28 : le profil de Pierre-Louis.....	221
Figure 29 : le profil de Clément.....	222
Figure 30 : Les profils comparés de Julien et Richard	222
Figure 31 : profil de la classe sur l'ensemble du premier questionnaire	223
Figure 32 : diagramme du groupe n°1	232
Figure 33 : diagramme du groupe n°5	232
Figure 34 : qu'est ce que cette séance vous a appris d'important sur l'élaboration des savoirs scientifiques ?.....	237
Figure 35 : ne peut-on pas considérer que vous aviez vous-même une forme de présupposé vis-à-vis de l'activité scientifique elle-même ?.....	243
Figure 36 : comment expliquez-vous que Ptolémée et Copernic défendent des positions différentes ?.....	247
Figure 37 : une lecture attentive des textes vous montre que la plupart de ces grands scientifiques étaient croyants, pensez-vous que cela ait pu avoir une grande influence sur leur travail en tant que scientifique ?	249
Figure 38 : une lecture attentive des textes vous montre que la plupart de ces grands scientifiques étaient croyants, pensez-vous que cela ait pu avoir une grande influence sur leur travail en tant que scientifique ?	251
Figure 39 : cet exemple célèbre de l'astronomie vous montre que les sciences sont en perpétuelle évolution, cela signifie-t-il que Ptolémée (par exemple) était dans l'erreur ? Si oui peut-il être encore selon vous considéré comme un scientifique ?	256
Figure 40 : Ptolémée était dans l'erreur, mais peut-il être scientifique ?	257
Figure 41 : cet exemple célèbre de l'astronomie vous montre que les sciences sont en perpétuelle évolution, cela signifie-t-il que Ptolémée (par exemple) était dans l'erreur ? Si oui peut-il être encore selon vous considéré comme un scientifique ?	259
Figure 42 : cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ?	261
Figure 43 : cette courte étude d'un exemple célèbre de l'histoire des sciences vous a-t-elle amené à reconsidérer la place de l'observation dans l'élaboration du savoir scientifique ?	265

Figure 44 : la distribution de fréquences des dimensions du 2d questionnaire	268
Figure 45 : différences des deux distributions de fréquences avant et après	272
Figure 46 : profil de la classe sur l'ensemble du questionnaire après la séquence	273
Figure 47 : profil de la classe sur la question « <i>qu'est ce que cette séance vous a appris d'important sur l'élaboration des savoirs scientifiques ?</i> »	274
Figure 48 : la place de l'observation dans la démarche	277
Figure 49 : ancrage théorique de l'observation.....	280
Figure 50 : rapport sciences et croyances	282
Figure 51 : à qui doit-on attribuer la découverte de la planète Neptune ?	286
Figure 52 : cette volonté de ne pas remettre en cause la théorie de Newton est-elle complètement rationnelle ?	290

Table des illustrations : Tableaux

Tableau 1 : les 15 mythes scientifiques de McComas (1998)	54
Tableau 2 : les 7 caractéristiques de Lederman <i>et al.</i> (2002).....	68
Tableau 3 : les 8 caractéristiques supplémentaires de Matthews (2012)	71
Tableau 4 : Les caractéristiques de l'activité scientifique de Maurines et Beaufils (2011, p. 281)	83
Tableau 5 : grille d'analyse thématique élaborée a posteriori présentant pour chaque dimension une proposition de classification des unités d'analyse en sous-dimensions et catégories (2013).....	86
Tableau 6 : grille d'analyse thématique (2017).....	88
Tableau 7 : Extraits du programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie en classe terminale de la série scientifique. Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011.	112
Tableau 8 : Extraits du programme de philosophie en classe terminale des séries générales. Bulletin officiel n° 25 du 19 juin 2003. Série littéraire	113
Tableau 9 : Extraits du programme de philosophie en classe terminale des séries générales. Bulletin officiel n° 25 du 19 juin 2003. Série scientifique.....	114
Tableau 10 : Organisation de la lecture des textes	161
Tableau 11 : Organisation de l'étude	162
Tableau 12 : Tableau synoptique — Version 1	163
Tableau 13 : Tableau synoptique — prototype n° 1 (non testé)	164
Tableau 14 : Tableau synoptique — prototype n° 2 (non testé)	164
Tableau 15 : Tableau synoptique final — Version 2.....	165
Tableau 16 : diagramme de synthèse version 1.....	166
Tableau 17 : diagramme de synthèse version 2.....	167
Tableau 18 : Tableau synthétique des questions abordées avant la séquence	170
Tableau 19 : Tableau synthétique des questions abordées dans le 2 ^e questionnaire.....	171
Tableau 20 : le questionnaire « <i>De Neptune à Vulcain</i> ».....	173
Tableau 21 : les sciences et les croyances	174
Tableau 22 : mise en perspective des questions de recherche et des questions des questionnaires	175
Tableau 23 : Les démarches évoquées par les élèves (N=30)	189
Tableau 24 : Codage « <i>Observation/théorie</i> »	190
Tableau 25 : l'observation et le rapport à la réalité.....	194

Tableau 26 : Les arguments avancés à la question « <i>deux physiciens qui observent le même phénomène peuvent-ils proposer une explication différente ?</i> »	197
Tableau 27 : les principales idées de l'argumentation.....	201
Tableau 28 : codage « <i>Rapport modèle à la réalité</i> ».....	203
Tableau 29 : des activités différentes	211
Tableau 30 : le choix entre explications	212
Tableau 31 : codage sciences et croyances	216
Tableau 32 : codage simplifié sciences et croyances	217
Tableau 33 : positionnement pour chaque élève avant la séquence.....	224
Tableau 34 : typologie de réponse avant la séquence (N=30).....	225
Tableau 35 : tableau croisé des réponses du premier questionnaire sur observation, sciences et croyances (N=30).....	226
Tableau 36 : les éléments identifiés par les élèves.....	229
Tableau 37 : les arguments cités par les élèves.....	230
Tableau 38 : Les arguments d'ordre « <i>culturel ou religieux</i> » et ceux qui vont dans le sens ou contredisent la vision chrétienne.....	231
Tableau 39 : une réflexion sur ce qui a été appris dans un sens très large.....	235
Tableau 40 : les arguments évoqués concernant la subjectivité.....	245
Tableau 41 : le rapport entre sciences et croyances (Q2.3)	250
Tableau 42 : codage « <i>Observation/théorie</i> »	262
Tableau 43 : rapport observation, réalité et théorie.....	264
Tableau 44 : positionnement de chaque élève après la séquence	269
Tableau 45 : tableau croisé des réponses du deuxième questionnaire sur observation, sciences et croyances (N=30).....	270
Tableau 46 : tableau de correspondance entre les questions posées	275
Tableau 47 : comparaison avant/après sur la place de l'observation dans la démarche	276
Tableau 48 : les catégories et sous-catégories évoquées de la dimension « <i>Élaboration en sciences</i> »	278
Tableau 49 : les sous dimension de la dimension « <i>Visées et caractéristiques</i> »	278
Tableau 50 : comparaison des arguments sur l'ancrage théorique de l'observation.....	279
Tableau 51 : comparaison du rapport entre sciences et croyances	281
Tableau 52 : tableau croisé avant/après sur la place de l'observation dans la démarche	283
Tableau 53 : tableau croisé avant/après sur sciences et croyances.....	284

Table des matières

Introduction	7
Première partie : objet et cadre de l'étude	11
1. Regard sur l'enseignement de physique-chimie	11
1.1 L'évolution de l'enseignement de la physique-chimie	12
1.2 La culture scientifique en débat	25
1.3 À quels problèmes la diffusion de la culture scientifique est-elle confrontée aujourd'hui ?	29
2. Une image partielle et déformée de la nature des sciences	36
2.1 L'image de la <i>NoS</i> des élèves	36
2.2 Les enseignants n'échappent pas à une vision « naïve » des sciences	48
2.3 D'où viennent ces représentations « naïves » ?	51
3. Caractériser la nature des sciences à des fins d'enseignement	63
3.1 Les caractéristiques communes et consensuelles des sciences	64
3.2 Les sciences comme ensemble de disciplines	72
3.3 Les sciences comme activité discursive	74
3.4 Le point sur la recherche en France	76
4. La nature des sciences, oui... mais comment ?	97
4.1 De manière implicite dans une démarche d'investigation	98
4.2 Pratiquer une réflexion épistémologique	99
4.3 Intégrer une approche historique	102
Deuxième partie : Conception de l'étude empirique	108
1. Problématique et hypothèses	108
1.1 Contexte	108
1.2 Problématique et hypothèses	110
1.3 Choix du thème historico-scientifique	112
1.4 Le contexte et l'approche retenus pour l'expérimentation	114
2. Contenus théoriques et épistémologiques de la cosmologie de Platon à Galilée	116
2.1 L'élaboration de la conception dite classique de la science	117
2.2 Les conséquences cosmologiques	131
3. Élaboration de la séquence expérimentée	154
3.1 Les objectifs d'apprentissage épistémologique retenus et les questions de recherche explorées	154

3.2 Panorama de l'étude empirique	155
3.3 La séquence expérimentée et analysée	156
3.4 Les tableaux et diagrammes de synthèse	163
4. Les outils de suivi des élèves.....	168
4.1 Le carnet de bord.....	168
4.2 Le questionnaire pour le recueil des conceptions initiales	169
4.3 Les questionnaires pour étudier les représentations après la séquence	171
4.4 La progression structurée des questions et l'exploration de l'image du scientifique construite implicitement.....	173
5. Méthodologie d'analyse des réponses	176
5.1 L'analyse en termes de positionnement.....	177
5.2 L'analyse en termes de richesse.....	178
5.3 Les résultats de la classe et par élève	179
<i>Troisième partie : Résultats.....</i>	180
1. Le questionnaire avant la séquence.....	181
1.1 L'étude des résultats de la classe	181
1.2 Étude des résultats de chaque élève	220
1.3 Bilan et mise en perspective avec les hypothèses de recherche et les résultats	226
2. Les documents pendant la séquence et le questionnaire immédiatement après	229
2.1 Les documents pour les élèves	229
2.2 Étude des résultats de la classe.....	234
2.3 Étude des résultats de chaque élève	267
2.4 Bilan et mise en perspective avec les documents pendant la séance	270
3. Avant/Après : Comparaison des résultats de la classe	272
3.1 L'analyse avant/après en termes de richesse.....	272
3.2 Trois questions à examiner pour comparer les résultats	274
3.3 Comparaison des réponses fournies par la classe avant et après la séquence	276
3.4 Comparaison des réponses fournies par élève avant et après la séquence	283
4. De Neptune à Vulcain : Étude des résultats de la classe et bilan	285
4.1 Selon vous, à qui doit-on attribuer la découverte de la planète Neptune ? Que doit-on en déduire du rôle de la théorie et de l'observation en science ?	285
4.2 Pourquoi les scientifiques alors qu'ils ne trouvent pas la planète cherchent-ils à tout prix à proposer d'autres hypothèses compatibles avec ce phénomène plutôt que de remettre en question les conclusions de la théorie de Newton ?.....	287
4.3 Cette volonté de ne pas remettre en cause la théorie de Newton est-elle complètement rationnelle ?	289
4.4 La « vraie » démarche scientifique ne serait-elle pas plutôt dans l'attitude qui interroge les théories existantes plutôt que dans celle qui cherche à les préserver à tout prix ?	293

4.5 Bilan des réponses et commentaires relatifs au questionnaire	294
Conclusion	296
Principaux résultats	297
Limites et perspectives de la recherche.....	299
Propositions d'enseignement et de formation	301
Bibliographie	302
Table des annexes	316
Table des illustrations : Figures.....	371
Table des illustrations : Tableaux	374
Table des matières.....	376

Titre : Le physicien, l'observation et ses présupposés, au travers de l'histoire des modèles d'univers : représentations d'élèves de terminale S

Mots-clés : Histoire des sciences, image de la nature des sciences, modèles géocentrique et héliocentrique, observation, présupposés, enseignement secondaire.

Résumé : Il s'agit d'examiner la possibilité d'introduire l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique secondaire français afin de travailler l'image de la nature des sciences. Pour cela, nous avons élaboré, et mis en œuvre dans une classe de terminale S, une séquence à caractère historique basée sur sept textes. Elle porte sur le passage du modèle géocentrique au modèle héliocentrique, et vise à mettre en valeur l'existence et l'évolution de présupposés au sein de la physique. La reprise de cette expérience encadrée par trois

questionnaires nous a permis de mieux appréhender l'image de la nature des sciences des élèves. Les résultats obtenus sont encourageants quant à l'évolution de leur représentation de l'observation, plus précisément de sa place dans la démarche scientifique et de son ancrage théorique et métaphysique. Par ailleurs, il semble subsister une vision réaliste « naïve » (les savoirs existent dans le monde) et une difficulté à différencier les registres mis à l'œuvre dans l'activité scientifique en sciences physiques.

Title: The physicist, the observation and its presuppositions through the history of the universe's models : representations of students of grade 12

Keywords: History of Science, view of the nature of science, geocentric and heliocentric models, observation, presuppositions, secondary education

Abstract: The idea is to introduce some elements of the History of Science in the French secondary scientific education in order to give a more authentic view of the Nature of Science (*NoS*). To do so, a historical inquiry based on seven texts was built and tested in a scientific grade 12 class. This pedagogical unit was about the way scientists switched from geocentric models to heliocentric ones. The purpose was to point out the existence and evolution of presuppositions in physics. This unit was

implemented again, this time coupled with three questionnaires that enabled us to explore the image students get of science. The results obtained are encouraging as regards to the evolution of their representations of the observation, more precisely of its metaphysical and theoretical anchoring. Moreover, there seems to be a "naive" realistic vision (knowledge exists in the world) and a difficulty in differentiating the registers used in scientific activity in physics.

