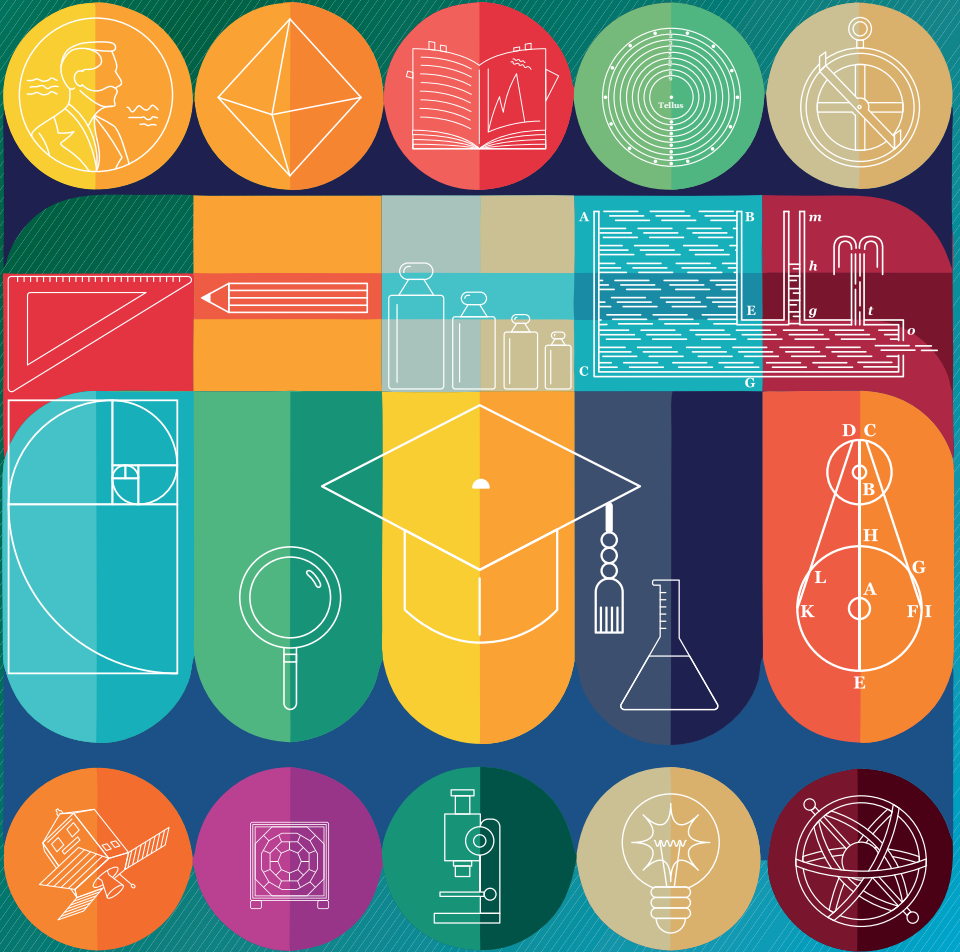




APPRENDRE ET PENSER LES SCIENCES DANS L'ENSEIGNEMENT ET LA FORMATION SCIENTIFIQUE

VERS UNE INTERDISCIPLINARITÉ
DIDACTIQUE - HISTOIRE DES SCIENCES - ÉPISTÉMOLOGIE



DIRECTION

Laurence Maurines
Christian Bracco

JOURNÉE D'ÉTUDE

3 juin 2021
MSH Paris-Saclay



13

APPRENDRE ET PENSER LES SCIENCES DANS L'ENSEIGNEMENT ET LA FORMATION SCIENTIFIQUE

*Vers une interdisciplinarité
didactique – histoire des sciences – épistémologie*

JOURNÉE D'ÉTUDE

3 juin 2021
MSH Paris-Saclay

DIRECTION

Laurence Maurines
Christian Bracco





MSH Paris-Saclay Éditions, Université Paris-Saclay, 2024.

4, avenue des Sciences, 91190 Gif-sur-Yvette

www.msh-paris-saclay.fr

Collection « Actes »

ISSN 2800-7891



Cet ouvrage est publié en accès ouvert selon les termes de la licence Creative Commons Attribution – Utilisation non commerciale – Pas d'œuvre dérivée 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0), qui permet le partage de l'œuvre originale (copie, distribution, communication) par tous moyens et sous tous formats, sauf à des fins commerciales, à condition que l'œuvre originale soit correctement citée et diffusée sans modification, dans son intégralité.

Pour plus d'informations : <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

ISBN 978-2-9590898-2-4

Introduire l'histoire des sciences en classe pour travailler les représentations de la/des science(s)

La transition géo-héliocentrique selon une approche anthropologique des pratiques scientifiques

Laurence MAURINES

Nous présentons la démarche didactique à orientation curriculaire que nous avons suivie afin d'élaborer et expérimenter des « investigations documentaires historiques » visant à transmettre aux élèves une image plus authentique des sciences, puis le cadre théorique multidimensionnel adopté pour caractériser ces dernières. Nous montrons comment cette caractérisation, qui articule pratiques sociales, psychologie et anthropologie, peut être mobilisée pour élaborer et évaluer des dispositifs d'enseignement originaux sur l'exemple d'une séquence d'enseignement sur la transition géocentrique à héliocentrique. Conçue pour la classe de terminale scientifique, elle repose sur sept textes rédigés afin de mettre en valeur l'existence et l'évolution de présupposés au sein de la physique, et sur trois questionnaires. Les résultats obtenus avant enseignement confirment les hypothèses faites concernant les représentations de l'observation comme « neutre » et d'une démarche inductive. Après enseignement, ils montrent une vision des pratiques donnant un rôle plus grand aux dimensions humaine et sociale des sciences, ainsi qu'une évolution de la place de l'observation dans la démarche scientifique. Nous concluons en discutant des problèmes soulevés par l'expérimentation et l'introduction de l'histoire des sciences en classe.

MOTS-CLÉS : terminale scientifique, transition géo-héliocentrique,
Nature of Science (NoS), observation, présupposés

Pour faire face aux nombreux défis que le monde contemporain doit relever, il est attendu de l'enseignement de sciences qu'il favorise et soutienne l'orientation vers les métiers scientifiques, ainsi que l'acquisition par tout citoyen d'une

culture scientifique. Cette culture est conçue comme devant reposer sur des connaissances, non seulement en sciences, mais aussi sur ce que sont la/les science(s)¹, ainsi que sur la capacité à les utiliser pour penser ou agir de manière responsable dans des contextes variés pouvant mettre en jeu des questions socio-scientifiques ou liées au multiculturalisme (Hodson, 2009).

Cette finalité épistémologique de l'enseignement des sciences est à l'origine d'un courant de recherche encore peu développé en France et désigné par *Nature of science (NoS)* dans le monde anglo-saxon². Les travaux réalisés dans ce champ discutent, par exemple, des façons de définir la/les science(s) à des fins d'enseignement, des contenus à enseigner et des stratégies à mettre en œuvre, et caractérisent ce que pourrait être une compréhension informée des sciences. De nombreuses recherches sur les représentations qu'en ont les élèves, étudiants et enseignants montrent qu'elles sont très souvent incohérentes et éloignées d'une vision socio-constructiviste des sciences (Lederman, 2007). Elles mettent par ailleurs en avant différents leviers susceptibles de favoriser une meilleure compréhension de la nature des savoirs scientifiques et de leurs modes d'élaboration, comme la proposition de pratiques scientifiques « authentiques » aux élèves et l'introduction d'éléments d'histoire des sciences (HS) dans les cours de sciences (Allchin, 2011).

Face à ces différents constats, nous avons débuté un programme de recherche il y a une vingtaine d'années environ visant à examiner s'il est possible de faire évoluer les représentations des sciences des élèves grâce à

¹ Voir note 3 de l'Introduction au présent volume, p. 8.

² C'est lors des deux principales évolutions de l'enseignement scientifique qui se sont produites après la Seconde Guerre mondiale aux États-Unis que la *NoS* est apparue comme une cible d'apprentissage (Duschl & Grandy, 2013). Dans les années 1940, l'autorisation est donnée aux anciens combattants de poursuivre des études universitaires et un cours de sciences fondé sur l'histoire des sciences (*Harvard Case Studies in History of Science*) destiné à des non-scientifiques est publié. Dans les années 1950, la *National Science Foundation* est créée et le développement de programmes d'enseignement de mathématiques et de sciences est financé. Dans les années 1980 et 1990, l'enseignement scientifique voit ses missions s'élargir et viser non plus seulement la formation de scientifiques, mais aussi l'acculturation scientifique de tout américain. Le champ de recherche de la *NoS* se développe parallèlement, la *NoS* et l'HS sont mentionnées dans les premiers « standards » qui définissent ce que les élèves doivent apprendre et savoir.

l'HS. Après avoir présenté le cadre conceptuel qui oriente ce programme sur l'HS et la *NoS*, nous l'illustrons en prenant comme exemple une recherche doctorale portant sur l'introduction d'éléments historiques sur le passage des modèles géocentrique à héliocentrique en classe de terminale scientifique (S). Après avoir présenté quelques-unes des questions de recherche explorées dans la thèse et retenues pour cette contribution, nous précisons comment la séquence d'enseignement a été élaborée et expérimentée en classe, puis donnons quelques-uns des résultats obtenus³. Pour conclure, nous discutons les problèmes soulevés par cette expérimentation et l'introduction d'éléments historiques en classe de sciences.

Cadre théorique

Nous précisons tout d'abord le cadre adopté pour ce programme de recherche sur l'introduction de l'HS en classe de sciences, puis nous présentons la caractérisation de la/des science(s) sur laquelle il repose.

Introduire l'histoire des sciences en classe de sciences pour travailler la NoS

Si les programmes de physique et chimie de l'enseignement secondaire français soulignent depuis longtemps l'intérêt d'introduire des éléments d'HS en classe (Fauque, 2006), ils laissent implicites les visées d'apprentissage d'une telle introduction⁴. Depuis tout aussi longtemps, des voix se sont élevées contre l'introduction de l'HS afin de faciliter l'apprentissage de contenus scientifiques. Selon Nicole Hulin (1996), Henri Bouasse en 1901 et Richard Feynman dans les années 1970-1980 soulignent, entre

³ Pour les autres, le lecteur peut se référer à : Journaux, 2018 ; Journaux & Maurines, 2020.

⁴ Ce n'est que depuis peu que certains programmes et documents ressources pour les enseignants explicitent une visée d'apprentissage épistémologique, sans pour autant l'opérationnaliser au travers de la mention d'objectifs précis, de thèmes historico-scientifiques à travailler et de méthodes pédagogiques à mettre en place. Il en est ainsi, par exemple, du programme d'enseignement scientifique de première générale (d'après le Bulletin officiel de l'éducation nationale [BOEN] spécial n° 1 du 22 janvier 2019 et le BOEN spécial n° 6 du 31 juillet 2020) et du programme d'enseignement scientifique de la terminale de la voie générale (BOEN spécial n° du 25 juillet 2019), ainsi que de la ressource « Valeurs de la République et enseignement de la physique-chimie au cycle 4 » (Ministère de l'Éducation nationale [MEN], mars 2016) à destination des enseignants.

autres, que des hypothèses abandonnées et des idées obsolètes pourraient être retenues par les élèves.

Par ailleurs, sur le plan de la recherche, que ce soit à l'international ou en France, des études montrent que les enseignants de sciences rencontrent des difficultés à la mise en œuvre de l'HS en classe et expriment un besoin de formation et de ressources (Henke & Höttecke, 2015 ; Beaufiles, Maurines & Chapuis, 2010). De plus, même ceux pour qui la dimension épistémologique est importante tendent à la négliger en faveur de l'acquisition de savoirs et savoir-faire scientifiques (Lederman, 2007). Enfin, les manuels d'enseignement accordent peu de place à l'HS et l'image de la/des science(s) qu'ils renvoient est réductrice, voire déformée (Allchin, 2004), même si des évolutions sont perceptibles (Beaufiles & Maurines, 2013).

Ces différents constats nous ont guidés, il y a une vingtaine d'années, à expliciter et à associer à l'introduction de l'HS en classe de sciences une problématique liée à un apprentissage épistémologique. Le programme de recherche que nous avons alors débuté s'est orienté vers l'élaboration de ressources pour les professeurs et l'expérimentation de séquences innovantes d'enseignement visant à transmettre une représentation plus riche et plus authentique des sciences aux élèves (Allchin, 2011). Nous supposons, entre autres, qu'une telle introduction peut contribuer à (re) motiver les élèves pour les sciences (élèves et étudiants qui se représentent la science guère que comme un ensemble de faits théoriques et expérimentaux qu'il faut retenir). Notre approche didactique de l'HS se rapproche ainsi de celle valorisée par Agustín Adúriz-Bravo (2010), Dietmar Höttecke, Andreas Henke et Falk Riess (2012). Elle n'est pas un but d'apprentissage en tant que tel. Elle est avant tout un moyen pour faire réfléchir les élèves sur les sciences et les sensibiliser aux conceptions contemporaines de l'activité scientifique. Elle diffère en cela de l'approche mobilisée dans les travaux inscrits dans la lignée de Martin Monk et Jonathan Osborne (1997) dite de la reconstruction didactique, dont l'objectif est en premier lieu l'apprentissage scientifique (Décamp & Hosson, 2012 ; Hosson & Kaminski, 2007).

Afin de répondre aux questions soulevées par une telle introduction de l'HS, nous avons inscrit notre réflexion dans une perspective curriculaire, ce qui supposait d'avoir comme points de vigilance la cohérence,

la progressivité et la complémentarité des objectifs et dispositifs d'enseignement (Lebeaume, 1999). En ce qui concerne l'élaboration et l'expérimentation d'une séquence d'enseignement donnée, il s'agissait d'explicitier et préciser les réponses à plusieurs questions (voir Tableau 1). Certaines portent sur la séquence telle qu'elle pourrait être élaborée et mise en œuvre en classe par un enseignant : quelle cohérence entre les finalités de l'enseignement des sciences (former un scientifique, former un futur citoyen) et les objectifs d'apprentissage épistémologiques retenus, les contenus proposés (scientifiques, historiques, épistémologiques), les tâches dévolues aux élèves et à l'enseignant, sans oublier les contraintes liées au contexte d'enseignement (les programmes, la classe, l'établissement) ? D'autres portent sur le suivi lié à la recherche (repose-t-il sur des questionnaires, des observations, des entretiens ?) et les contraintes liées à la recherche (entre autres celles liées à la formation de l'enseignant). D'autres encore portent sur les conditions d'élaboration et d'expérimentation de la séquence elle-même : l'enseignant est-il en mesure de mettre en œuvre un dispositif innovant au plus près des intentions didactiques ayant présidé à son élaboration par le chercheur (ingénierie didactique dite de première génération) ou a-t-il besoin d'une formation préalable ? Est-il possible de s'appuyer sur un collectif de chercheurs-enseignants pour coconstruire la séquence et l'expérimenter (ingénierie de deuxième génération) ? Cette approche qualifiée de processus symbiotique par Höttecke, Henke et Riess (2012) semble celle à privilégier car elle permet aux chercheurs de s'appuyer sur l'expérience des conditions d'enseignement des enseignants, et aux enseignants de se former et mettre en œuvre la séquence au plus près des intentions didactiques. Sous-jacentes à ces différentes questions, il y a celles liées au cadre théorique qui sous-tend l'élaboration de la séquence d'enseignement et son expérimentation. Il y a non seulement celles concernant l'apprentissage et l'enseignement, mais aussi celles qui ont trait à la *NoS* (sur quelle conceptualisation de la/des science(s) s'appuyer ?) et à l'*HS* (quelles ressources historiques mobiliser ? Quels éléments introduire en classe et comment ?).

Contexte d'enseignement		Quel cadre théorique ?	Contexte de recherche	
Contraintes	Classe (programme, examen, élèves), établissement	En particulier sur la NoS ? sur l'HS ?	Contraintes	Enseignant (formation)
Scénario pédagogique	Finalités (formation d'un scientifique, d'un futur scientifique) ? Objectifs d'apprentissage ? épistémologique uniquement ou aussi scientifique ? Thème scientifique ? Période historique ? un panorama ou un épisode ? Contenus présentés ?	<i>Mais aussi sur l'apprentissage des sciences ?</i> <i>Leur enseignement ?</i> <i>La formation de l'enseignant ?</i>	Méthodologie de recueil et d'analyse des données	Questionnaires ? Observation et enregistrement ? Entretiens ? qualitative ? quantitative ?
	Dispositif d'enseignement Documents ? Expériences ? Tâches élèves ? enseignant ? Évaluation ?		Méthodologie d'élaboration et d'expérimentation du dispositif innovant	Élaboration + expérimentation par le chercheur ? Élaboration chercheur + transfert et expérimentation par l'enseignant ? Amélioration progressive ? Co-construction (collectif chercheurs et enseignants) ?

Tableau 1 – Questionner l'élaboration et l'expérimentation d'une séquence d'enseignement

Source : Réalisation de l'autrice.

Nous avons commencé par préciser les contours de dispositifs d'enseignement innovants cohérent avec notre projet d'introduire l'HS à des fins épistémologiques et à élaborer des ressources dans le domaine de

l'optique (Maurines & Beaufiles, 2011), certaines étant mises en œuvre en classe, d'autres y étant expérimentées dans le cadre d'une recherche doctorale (Slaïmia, 2014 ; Slaïmia & Maurines, 2017).

Tous ces dispositifs sont inscrits dans un cadre socio-constructiviste de l'apprentissage et de l'enseignement. Ils ont pour point commun de reposer sur des dossiers de documents à caractère historique à destination des élèves intégrés dans des séquences d'enseignement de type investigation documentaire. Une autre de leurs particularités est d'être centré sur un objectif épistémologique donné. Les documents sont construits pour pouvoir travailler une caractéristique déterminée de l'activité scientifique, dans le cadre d'un épisode historique particulier s'inscrivant dans le programme de la classe considérée. L'originalité de l'approche consiste à répartir l'information historique sur l'ensemble des documents : cela permet de donner suffisamment d'information pour limiter la réduction inévitable de l'image de la/des science(s), de ne pas décourager les élèves lors de la lecture, de limiter le temps consacré à l'activité. Le travail de lecture du corpus de documents est réparti sur la classe et l'extraction des informations est le plus souvent guidée par une consigne qui dépend de l'objectif épistémologique poursuivi. Il en est de même de l'activité de synthèse faite en classe, sous la direction de l'enseignant, qui vise une production-type permettant la visualisation synoptique des informations recueillies (diagramme, tableau). À notre connaissance, il n'existait aucune proposition de ressources historiques de ce type en physique-chimie lorsque ce projet d'investigation documentaire à caractère historique a été réalisé (Höttecke, Henke & Riess, 2012). De par sa nature, il relève d'un enseignement explicite de la *NoS* (Abd-El Khalick, 2013) et non d'un enseignement implicite qui mobilise l'HS sans pour autant travailler et institutionnaliser des objectifs d'apprentissage épistémologique en fin de séance au même titre que ceux d'apprentissage scientifique.

La NoS selon une approche anthropologique des pratiques scientifiques

Parallèlement à ce travail sur l'introduction de l'HS en classe de sciences, nous avons précisé la représentation de la/des science(s) sur laquelle il repose. Nous souscrivons à l'idée que, pour comprendre la

façon dont les scientifiques génèrent des connaissances par leur activité, une pluralité de points de vue est nécessaire. Inscrivant nos recherches dans une perspective curriculaire, nous avons fait le choix d'un cadre de référence large, susceptible d'ouvrir le champ des possibles, au niveau de l'enseignement secondaire et supérieur, pour la formation d'un futur scientifique et d'un futur citoyen.

Nos recherches mobilisent une grille multidimensionnelle d'analyse de la *NoS* que nous avons élaborée en faisant appel aux différents types d'études sur les sciences (voir Tableau 2) et en nous appuyant sur le concept de pratiques sociales de référence introduit par Jean-Louis Martinand (1986). Nous avons retenu neuf dimensions, elles-mêmes déclinables en sous-dimensions et catégories, pour interroger les sciences et en traduire la cohérence propre, les caractériser telles qu'elles sont pratiquées au sein de différentes communautés. Cinq des neuf dimensions se réfèrent à l'épistémologie « classique » et permettent de caractériser les savoirs et leurs modalités d'élaboration. Trois autres se rapportent à la sociologie et à l'HS : elles permettent de rendre compte de leur inscription dans une communauté et une société et d'appréhender leur évolution au cours du temps. Une dernière renvoie à la psychologie des sciences et permet de caractériser les individus, leurs qualités/dispositions et attitudes. Un des intérêts d'un cadre multidimensionnel d'analyse de la *NoS* est d'offrir autant de dimensions qu'il en possède et de permettre l'examen de l'image des sciences (renvoyée par les textes institutionnels, les situations d'enseignement, les propos d'étudiants ou d'enseignants), non seulement en termes de conformité avec les représentations contemporaines de l'entreprise scientifique, mais aussi en termes de richesse et de complexité. 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 et caractéristiques pertinentes mobilisées, le degré de complexité dépend quant à lui de la façon dont elles sont mises en relation.

DE	Dimensions épistémologiques	DIMENSIONS
		Objets (Obj) : types d'objets et de problématiques
		Visées et Caractéristiques générales des sciences (présupposés et valeurs, rapports aux autres pratiques/ domaines)(Vis)
		Ressources (Res) : intellectuelles et matérielles (instruments, techniques)
		Produits (Pro) : types
		Élaboration (Ela) : modalités de construction et de validation des savoirs (activités, démarches, règles)
DSPH	Dimensions sociologiques	Communauté (Com) : caractéristiques des membres de la communauté, construction collective du savoir, relations au sein de la communauté
		Société (Soc) : impacts des sciences sur la société, impacts de la société sur les sciences
	Dimension psychologique	Attitudes et qualités individuelles (Att) : cognitives, affectives et conatives
	Dimension historique	Temps (Tps) : évolution des savoirs scientifiques, des démarches, du contexte sociétal/culturel, etc.

Tableau 2 – Les sciences comme communautés de pratiques et de personnes se comportant en scientifiques

Source : D'après Maurines et al., 2013, 2021.

Comparativement aux caractérisations proposées à l'étranger par Sibel Erduran et Zoubeida R. Dagher (2014), et en cohérence avec notre choix de visées éducatives multiples, nous avons introduit deux dimensions supplémentaires pour caractériser le scientifique d'une part (dimension psychologique) et le situer historiquement d'autre part (dimension historique). Nous avons par ailleurs introduit des sous-dimensions pour tenir compte du contexte culturel et de l'arrière-plan métaphysique et ontologique des pratiques, ainsi que des normes et valeurs qui les orientent (sous-dimensions « Visées et caractéristiques générales des sciences »). Il s'agit d'une approche anthropologique des pratiques, dans la mesure où elle met au centre du questionnement l'Homme saisi dans toutes ses dimensions, dans son unité et sa diversité. Attentive à la singularité des acteurs et à leur multidimensionnalité, elle les considère comme des personnes qui agissent

en scientifiques, comme des *acting person as scientist* pour reprendre l'expression de Lisa M. Osbeck et ses collaboratrices (2013 : 29).

L'intérêt d'une approche des pratiques sociales articulée à la psychologie et à l'anthropologie est de permettre d'articuler les savoirs et les acteurs/personnes, et ainsi de conférer une inscription humaine et socio-culturelle aux savoirs scientifiques. Un autre encore est d'offrir un cadre d'analyse multidimensionnel pouvant être mis en œuvre pour caractériser non seulement les sciences, mais aussi d'autres domaines/pratiques de connaissance, et ainsi permettre de dégager leurs points communs et leurs différences. Cette approche nous semble pouvoir permettre de répondre à la visée éducative, défendue par Edgar Morin, de la nécessité de faire « connaître ce qu'est connaître » (Morin, 2000 : 2). Comme pour Marie Larochelle et Jacques Désautels (1992 : 5), il ne s'agit pas pour nous « de promouvoir la supériorité du savoir scientifique sur les autres savoirs, mais bien de le resituer au sein de la panoplie des jeux de connaissance inventés par les hommes et les femmes pour organiser, de façon viable, leurs expériences de cognition ». Nous visons ainsi une complexification épistémologique selon une approche (multi-)culturelle. Dans la lignée de William W. Cobern et Glen S. Aikenhead (1998), nous considérons l'apprentissage des sciences comme un franchissement de frontières culturelles, *a cultural border-crossing*.

La grille de lecture proposée par cette approche anthropologique des pratiques scientifiques ne dit rien de leurs caractéristiques et ouvre sur un questionnement large à leurs propos. Selon les objectifs éducatifs et de recherche poursuivis, elle est susceptible d'évoluer pour s'adapter au problème exploré, certaines dimensions et sous-dimensions pouvant être privilégiées par rapport à d'autres, et d'être couplée à des outils complémentaires d'analyse, tels que les schémas proposés par les didacticiens pour rendre compte des démarches scientifiques ou de la modélisation.

La recherche doctorale que nous détaillons ci-après s'appuie ainsi non seulement sur la grille de la *NoS* présentée en tableau 1, mais aussi sur le schéma de la modélisation proposé par Maurines (2010) dans son étude sur l'enseignement des sciences face au fait religieux (voir Figure 1). Souscrivant à l'idée que, si le paradigme oriente l'activité d'une communauté et la cimente, il n'en existe pas moins des différences entre scientifiques et diverses qualités de consensus, en particulier à propos de la composante métaphysique (Kuhn, 1982), Maurines

propose un schéma explicitant cette composante métaphysique du paradigme et l'existence d'un noyau commun de présupposés fondant la pratique scientifique. Ce schéma vise ainsi à montrer que l'activité de modélisation repose sur des présupposés et valeurs, c'est-à-dire des critères de positionnement théorique et de choix, plus ou moins partagés et explicités. Certains sont partagés par les scientifiques à une époque donnée et stables dans le temps (par exemple le principe du matérialisme méthodologique), d'autres sont interprétés différemment, remodelés et redéfinis (par exemple les éléments qualifiés d'auto-explicatifs par Stephen Toulmin [1973]). Ce schéma « 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 [...] » (Maurines, 2010 : 359). Il peut ainsi faire l'objet de deux niveaux d'analyse, celui d'un scientifique, un individu considéré comme une personne, et celui d'une communauté scientifique donnée, l'institution, ce qui résonne avec les propos de Yves Gingras (2016 : 15) dans son introduction à l'analyse du processus historique de séparation des institutions scientifique et religieuse : « Sur le plan méthodologique, on doit donc d'abord déterminer les échelles d'analyse. »

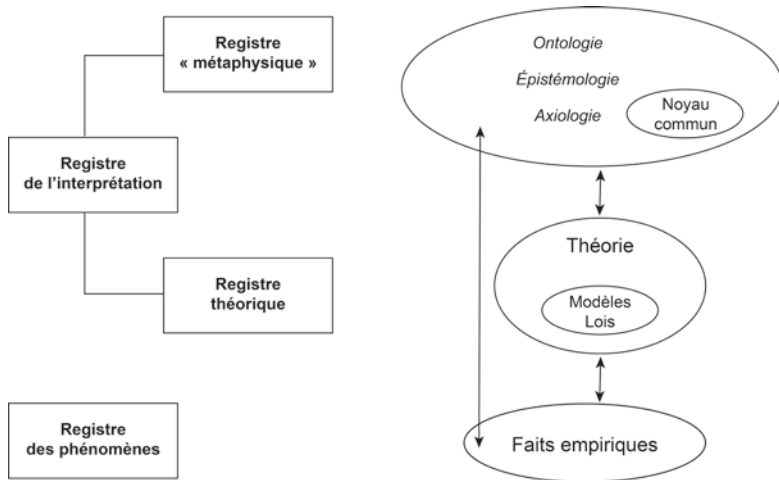


Figure 1 – Schéma de la modélisation fondée sur des présupposés

Source : Maurines, 2010.

À quelle histoire des sciences se référer ? Quels éléments introduire en classe et pour quels objectifs ?

La définition d'un dispositif d'enseignement à visée d'apprentissage épistémologique tout comme celle d'un dispositif d'enseignement à visée d'apprentissage scientifique nécessitent d'interroger les choix d'objectifs, de contenus et de modalités d'enseignement, ainsi que d'évaluation de cet enseignement.

Parmi l'ensemble des objectifs qu'une analyse épistémologique permet de dégager, nous avons choisi de retenir, dans la lignée de la proposition des objectifs-obstacles de Martinand, ceux qui sont associés à des difficultés pour les élèves. La littérature sur les représentations de la/des science(s) des élèves, étudiants et enseignants est abondante. De nombreuses études ont été réalisées à travers le monde, en abordant les sciences soit sous un angle large, soit en explorant un point spécifique (démarche, modèle, etc.). Cette littérature est une aide pour permettre la définition d'objectifs précis et le choix d'un thème historico-scientifique pouvant être abordés dans le cadre du programme d'une classe. Nous avons ainsi choisi de retenir pour les dossiers que nous avons élaborés dans le domaine de l'optique et évoqués plus haut (Maurines & Beaufils, 2011 ; Slaïmia, 2014 ; Slaïmia & Maurines, 2017), par exemple, le fait qu'un scientifique ne travaille pas seul (loi de la réfraction en classe de seconde), ou qu'il y a une interaction entre avancées des techniques et des savoirs scientifiques (les télescopes et spectroscopes en classe de terminale S).

Les éléments historiques introduits en classe relèvent d'un processus de transposition didactique⁵ de l'HS. Se pose tout d'abord la question du choix des ressources historiques auxquelles faire appel, question liée à celle de la pratique sociale de référence (Martinand, 1986), autrement dit du courant de recherches en HS dans lesquelles elles s'inscrivent. En fonction des objectifs d'enseignement, tel ou tel type d'HS (conceptuelle, technique, sociale, institutionnelle, etc.) est privilégié. Se pose ensuite la question des éléments

⁵ Le concept de transposition didactique (des savoirs) introduit par Yves Chevallard (1985) permet de rendre compte du processus de conception, de mise en œuvre et de réception d'un programme d'enseignement depuis le niveau institutionnel jusqu'à celui de l'élève. Le concept de pratiques sociales de référence introduit par Martinand permet d'explicitier et préciser la référence à partir duquel le programme d'enseignement est conçu, tout en élargissant l'objet de la transposition (les pratiques et non seulement les savoirs). Celle-ci peut être académique ou professionnelle, relever de la vie quotidienne, sociétale.

historiques à sélectionner et à introduire en classe, sachant qu'ils doivent permettre de travailler un objectif d'apprentissage précis dans un contexte d'enseignement donné. Comme il s'agit pour nous de proposer aux élèves des textes qu'ils peuvent exploiter sans trop de difficultés, nous avons le plus souvent proposé des extraits d'écrits secondaires ou rédigés nous-mêmes des textes⁶.

Après la présentation des grandes lignes du cadre théorique qui sous-tend notre programme de recherche sur l'introduction de l'HS dans l'enseignement, nous explicitons à présent comment il a été décliné dans le travail réalisé par Journaux (2018), en mettant l'accent sur les outils d'analyse mobilisés et certains des résultats obtenus.

Étude de cas : l'observation et la transition hélio-géocentrique

Choix d'un objectif épistémologique et d'un contexte d'enseignement

Les études sur les représentations des élèves de la/des science(s) montrent qu'elles sont souvent incohérentes et éloignées d'une vision socio-constructiviste des sciences. Comme le note Deng et ses collaborateurs, ces représentations « naïves » s'éloignent d'une vision « informée » où « la connaissance est construite de façon active par un individu pensant seul ou au travers d'échanges. Elle n'est pas reçue ou transmise passivement de l'environnement [...]. Elle ne vise pas la découverte d'une réalité objective et certaine (ou vraie) existant indépendamment du monde éprouvé par l'individu et social » (Deng *et al.*, 2011 : 964 ; notre traduction)⁷.

Ce résumé proposé par Feng Deng et ses collaborateurs rejoint les constats faits par d'autres chercheurs à propos des modèles et de la modélisation (Treagust Chittleborough & Mamiala, 2002 ; Cheng & Lin, 2015). Dans l'activité de modélisation, la dimension théorique est sous-estimée en

⁶ Cela ne signifie pas qu'un travail sur document original est nécessairement banni. Si l'objectif épistémologique poursuivi le nécessite, des écrits originaux peuvent être retenus et, si nécessaire, accompagnés d'un lexique.

⁷ « *knowledge is actively constructed within a thinking person individually or through social exchanges. It is not passively received or transmitted from the environment [...]. Knowing is not targeted toward the discovery of an objective and certain reality (or truth) that may exist independently from the individual's experiential or social world* ».

faveur de la dimension empirique. La démarche inductive est privilégiée (on part de l'observation, des mesures et on généralise). Un modèle décrit la réalité telle qu'elle est (la vérité est celle de la correspondance modèle-réalité et non celle intersubjective au sein d'une communauté). Cela résonne avec les recherches sur la *NoS* (Lederman, 2007) qui montrent que la dimension « sociale » de l'activité scientifique (la dimension collective et argumentative de la preuve) est sous-estimée et que la dimension « humaine » est peu perçue/réduite (l'observation est « neutre », alors qu'elle est chargée de théorie et repose sur des présupposés et des valeurs).

Étant donné qu'une représentation de l'observation comme fondatrice des savoirs scientifiques, « neutre » et indépendante de tout cadre théorique et métaphysique, apparaît comme une difficulté majeure pour l'acquisition d'une vision socioconstructiviste de la/des science(s), le choix a été fait de travailler cet obstacle en proposant une situation d'enseignement à caractère historique. Parmi les différents thèmes au programme de l'enseignement de physique-chimie en lycée⁸, celui intitulé « Temps, mouvement et évolution » de la classe de terminale S a retenu l'attention, et plus précisément le contenu désigné par « Révolution de la Terre autour du Soleil ». Le préambule du cycle terminal (première et terminale S) recommandait en effet « l'approche historique comme démarche didactique destinée à mettre la science en contexte et en culture ». De plus, dans la partie portant sur le système solaire, il était noté que : « 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. » Par ailleurs, le programme laissait la possibilité d'introduire des activités documentaires, en mettant l'accent sur la modélisation : « Les supports d'informations proposés aux élèves seront multiples et diversifiés. [...] L'exploitation sera conduite en passant par l'étape d'identification des grandeurs physiques ou chimiques pertinentes et par celle de modélisation. »

⁸ BOEN n° 8 du 13 octobre 2011, Enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie de la série scientifique, classe terminale.

Questions de recherche

La recherche doctorale s'est alors orientée, entre autres⁹, vers l'exploration des représentations des élèves sur l'inscription humaine et sociale des savoirs dans le cas particulier de l'observation d'une part, et vers l'examen de la possibilité de les faire évoluer grâce à l'introduction de l'histoire de la transition géo-héliocentrique d'autre part. Parmi les différentes questions explorées dans la recherche, nous retenons celles présentées ci-dessous afin de montrer comment les outils d'analyse présentés plus haut ont guidé l'élaboration de la séquence d'enseignement et l'analyse de son impact sur les élèves.

1. Pour les élèves, quelle est la place de l'observation dans la pratique scientifique, plus précisément l'observation doit-elle être première ou non, est-elle orientée ou non par un cadre conceptuel ?
2. Pour les élèves, un savoir scientifique résultant de l'observation reste-t-il ou non chargé de théorie ? Décrit-il ou non une réalité indépendante de l'observateur ?
3. Quelles dimensions de la *NoS* sont évoquées par les élèves ? Quelle place accordent-ils aux dimensions associées à l'Homme, la communauté scientifique et la société ?
4. Quelle est l'évolution des représentations des élèves en termes de positionnement d'une part, de dimensions évoquées et de leur richesse d'autre part ?

Méthodologie

Dans la lignée des propositions précédentes, une séquence de type investigation documentaire a été élaborée pour la classe de terminale S. Une étude

⁹ La problématique générale portait sur les rapports sciences-croyances. Celle-ci était double : différenciation des registres scientifiques et religieux *via* la distinction entre croyances religieuses et présupposés métaphysiques scientifiques d'une part, croyances au sein des sciences *via* l'inscription socio-culturelle et humaine de l'observation et *via* les scientifiques ayant des croyances, pour certaines religieuses, d'autre part.

historique et épistémologique des modèles d'univers a conduit à la rédaction de sept textes sur la transition géo-héliocentrique pour les élèves, mettant en valeur l'interpénétration des différents éléments qui façonnent les sciences. Chacun des sept textes contextualise la contribution d'un scientifique, aussi bien sur le plan sociétal qu'individuel : certains des présupposés et valeurs qui ont orienté son travail sont mentionnés, certains renvoyant au contexte culturel de l'époque et à la religion. L'annexe 1 met en perspective un des textes, celui sur Nicolas Copernic, avec la grille multidimensionnelle de la *NoS* et le schéma de la modélisation fondée sur des présupposés proposé par Maurines (2010). Les six autres textes ont été consacrés à Aristote, Claude Ptolémée, Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galilée, Isaac Newton.

La séquence d'enseignement innovante consiste en une séance en demi-groupe de deux heures, suivie de deux séances en classe entière d'une heure. Le suivi de l'expérimentation repose sur trois questionnaires. Le tableau 3 présente la structure de la séquence et les outils élaborés pour le recueil de données. La séquence a été expérimentée dans le cadre contraint d'une classe de terminale S auprès de 30 élèves en mai 2015 par l'enseignant qui réalisait la thèse¹⁰. Les outils proposés aux élèves pour extraire les informations des textes et préparer l'activité de synthèse sont présentés en annexe 2. Au nombre de deux, ils portent sur un scientifique et se présentent sous la forme d'un tableau à renseigner et d'un diagramme à compléter. En cohérence avec les objectifs visés et les textes élaborés, ce diagramme, inspiré du schéma de la modélisation proposé par Maurines (2010), évoque l'existence non seulement du registre scientifique théorique, mais aussi du registre métaphysique qui sous-tend la pratique du scientifique. Un registre religieux est également mentionné afin d'inscrire la science dans un contexte culturel et considérer le scientifique comme une personne pouvant avoir des croyances métaphysiques religieuses¹¹. L'annexe 3 présente le document de synthèse distribué par l'enseignant en fin de séance.

¹⁰ Cette séquence a été testée au préalable deux fois, en 2013 et 2014, ce qui a permis d'améliorer les textes, les questionnaires, le dispositif lui-même (pour les améliorations, voir : Journaux, 2018).

¹¹ En cohérence avec la problématique générale sur les rapports sciences-croyances/religions.

Séance 1 en travaux pratiques (TP) (2 h) – 2 groupes de 15 élèves		Suivi recherche
Appropriation du problème	Présentation + situation d'accroche	Questionnaire Q1 (N=30)
	Réponse individuelle par écrit	
Résolution du problème	Répartition des textes (scientifique/personne) entre les groupes Lecture et extraction des informations à l'aide du tableau (personne)	Tableaux (2 groupes N=7) <i>Le scientifique et la position défendue</i> <i>Les nouveaux éléments apportés ;</i> <i>Les arguments invoqués ;</i> <i>Position par rapport à la religion</i>
	Organisation des informations contenues dans le tableau (<i>phénomènes, modèles et arguments</i>) Construction d'un schéma de synthèse partielle (personne)	Carnet de bord (<i>justification des choix et difficultés rencontrées</i>) Diagrammes intermédiaires (2 groupes N=7)
Séance 2 en cours 1 h – 30 élèves		
	Analyse et comparaison des diagrammes partiels (personne)	Questionnaire Q2 (N=30)
Institutionnalisation	Diagramme de synthèse (<i>institution/science</i>)+ discussion sur l'idée de science	
Séance 3 en cours 1 h – 30 élèves		
Enrichissement/Évaluation	Texte « De Neptune à Vulcain »	Questionnaire Q3 (N=30)

Tableau 3 – Organisation de la séquence expérimentée et du suivi recherche

Source : D'après Journaux, 2018 : 161.

Les questionnaires passés au début de la séquence (Q1) et immédiatement après (Q2) comportent chacun six questions ouvertes ou fermées avec demande de justification. Q1 proposait des questions générales inspirées pour partie de la littérature sur la *NoS* et Q2 des questions contextualisées à la transition géo-héliocentrique. En suivant Allchin (2011), le questionnaire Q3 passé quinze jours après vise à estimer la capacité des élèves à réinvestir ce qu'ils ont appris au cours de la séquence innovante dans un autre contexte historico-scientifique. Il se présente sous la forme d'un texte portant sur la découverte de Neptune et la (non-)découverte de Vulcain, accompagné de quatre questions ouvertes.

Les réponses fournies par les élèves à chaque questionnaire ont été analysées question par question et les résultats de certaines questions d'un même questionnaire ont été croisés afin de lever, si possible, certaines ambiguïtés ou repérer l'existence éventuelle de profils d'élèves. Deux types d'analyse ont été réalisés. D'une part, les réponses ont été catégorisées par un processus itératif couplant analyse *a priori* et *a posteriori*, et certains types de réponses ont été rapprochés de positionnements épistémologiques allant de positionnements naïfs à informés. D'autre part, la grille de la *NoS* a été mobilisée pour repérer les dimensions des pratiques évoquées dans une réponse et ce, indépendamment du nombre de fois où une dimension est évoquée par l'élève. Un exemple de codage de réponses obtenues est présenté dans le tableau 4. La recherche de la stabilité intersubjective du codage sur l'ensemble du corpus reste à finaliser.

Réponses d'élèves	Dimensions de la NoS								
	Vis	Obj	Res	Pro	Ela	Att	Com	Soc	Tps
De leur point de vue, un phénomène peut avoir plusieurs causes.	x	x							
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	x				x	x			

Tableau 4 – Exemple de codage de réponses d'élèves

Source : D'après Journaux & Maurines, 2020 : 702.

Pour estimer l'impact de la séquence sur un point épistémologique particulier, les résultats obtenus à des questions portant sur ce point ont été comparés, questions formulées de manière générale avant enseignement et contextualisées après (voir par exemple les questions associées aux figures 5 et 6). Cette comparaison a été faite aussi bien pour les résultats en termes de positionnement que ceux en termes de dimensions.

L'impact de la séquence sur la richesse des représentations de la *NoS* de la part d'un élève et de la classe a été estimé à l'aide de deux critères : le nombre de dimensions évoquées à un questionnaire d'une part, la

répartition de ces dimensions d'autre part. Compte tenu des objectifs poursuivis dans la séquence, il était notamment attendu après enseignement un nombre de dimensions évoquées plus élevé qu'au début de la séquence et une présence plus importante des dimensions témoignant de l'inscription humaine et socio-culturelle des savoirs : visées (au travers de la sous-dimension « Présupposés et valeurs »), attitudes/qualités (des acteurs), société (contexte culturel et religieux).

Résultats

Nous présentons les résultats obtenus sur la place et le rôle de l'observation dans l'élaboration des savoirs scientifiques, puis nous montrons comment l'analyse en termes de dimensions de la *NoS* permet d'apporter des éléments de réponse sur l'inscription humaine et sociale de ces savoirs. Les histogrammes présentés ci-après donnent la répartition des unités d'analyse (ua) repérées dans les réponses fournies par l'ensemble des élèves à une question (voir Figures 2 à 5) ou à l'ensemble des six questions des questionnaires Q1 ou Q2 (voir Figure 6). La figure 7 donne la répartition obtenue pour deux élèves pour lesquels le même nombre d'ua a été repéré au questionnaire Q1, la figure 8 la différence entre les nombres d'ua repérés avant et après enseignement pour chaque élève de la classe.

La place et le rôle de l'observation

Avant enseignement, la majorité des élèves (77 %, N=30) répond qu'un bon physicien est quelqu'un qui observe d'abord. Seuls 17 % des élèves répondent par la négative. Si les premiers justifient leur réponse en mettant en avant une démarche inductive : « C'est suite à ses observations qu'il propose des explications », les seconds ancrent l'observation dans une réflexion théorique : « Le physicien doit d'abord réfléchir à ce qu'il veut prouver, puis établir un protocole et enfin observer. »

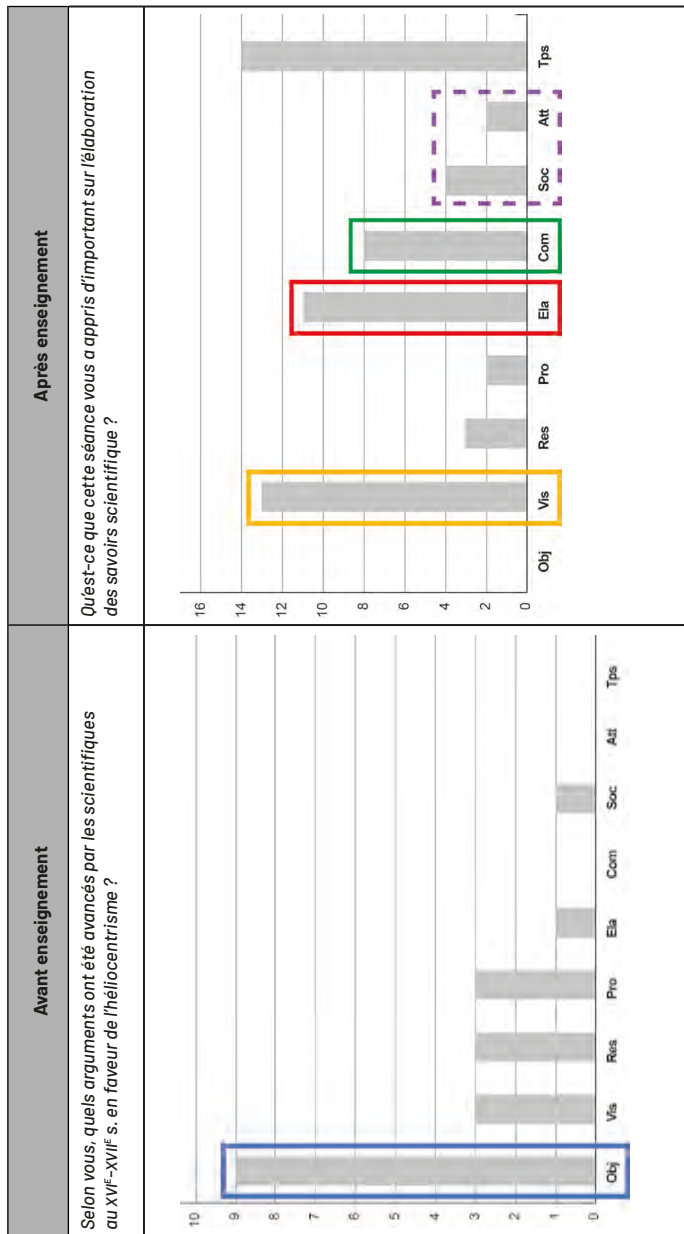
Juste après enseignement, 83 % des élèves répondent que la séquence les a conduits à reconsidérer la place de l'observation : « C'est une idée reçue que de croire que l'élaboration du savoir scientifique se base sur l'observation [...]. » quinze jours après enseignement, une majorité d'élèves (73 %) considèrent que Urbain Le Verrier a contribué à la découverte de

Neptune (seul pour 53 % ou avec Johann Gottfried Galle pour 20 %), prenant ainsi en compte la dimension théorique. Seuls 17 % des élèves donnent priorité à l'observation par Galle.

L'inscription humaine et culturelle de l'observation et des savoirs

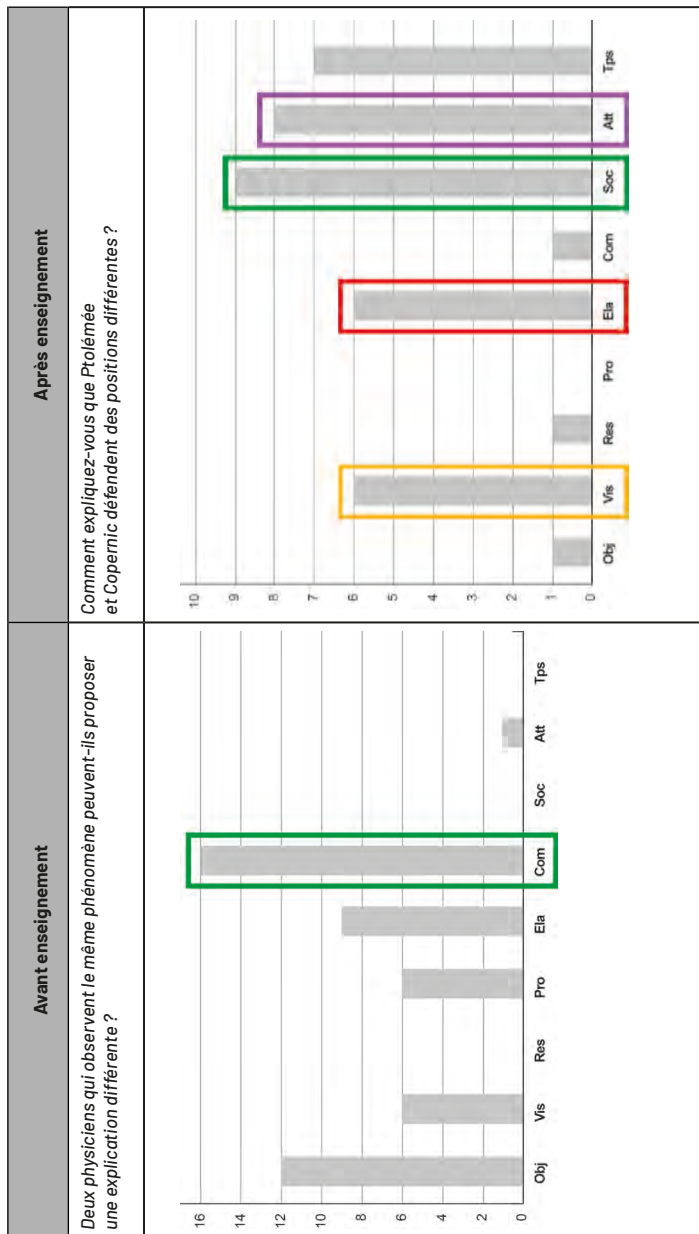
Avant enseignement, les élèves ont des difficultés à répondre à la question leur demandant quels sont les arguments avancés par les scientifiques en faveur de l'héliocentrisme aux XVI^e-XVII^e siècles. Environ les deux tiers d'entre eux répondent qu'ils ne savent pas (63 %, N=30). Parmi ceux qui répondent, la majorité n'évoque qu'un seul registre du schéma de la modélisation, en mettant l'accent soit sur les observations (« En regardant le mouvement des autres planètes »), soit sur des éléments théoriques (« Loi de Kepler [ellipse]. La Terre tourne autour du Soleil en formant une ellipse »). Seuls deux élèves articulent les registres empirique et théorique. L'analyse en termes de dimensions de la *NoS* des réponses fournies à cette question (voir Figure 2) révèle un accent mis sur la dimension « Objet ».

Après enseignement, l'analyse fondée sur l'approche anthropologique des pratiques montre une présence relative plus importante des dimensions de la *NoS* en lien avec les objectifs d'apprentissage poursuivis dans la séquence (voir Figure 3). En plus de la dimension historique dont l'augmentation est liée à la nature même de la séquence, les élèves évoquent des éléments relevant principalement des visées et caractéristiques générales des sciences, de l'élaboration et des démarches, de la communauté. Apparaissent également dans une moindre mesure les dimensions liées aux qualités des acteurs et à la société. Il est à noter que la mobilisation de ces dimensions et catégories ne suffit pas pour caractériser complètement la vision des sciences renvoyée par une réponse. Ainsi, la réponse suivante renvoie à une vision informée des sciences dans laquelle l'observation a un ancrage théorique : « Contrairement à ce qu'on pouvait croire, une observation neutre n'existe pas, elle est guidée par des théories déjà supposées ou envisagées. » En revanche, cette autre réponse se rapproche d'une vision naïve de type réaliste pour laquelle il n'y a pas de croyances dans les sciences : « Il faut faire abstraction de tous nos préjugés, de toutes nos croyances pour arriver à interpréter des phénomènes sans influence. »



Figures 2 et 3 – Distribution des dimensions repérées sur les réponses fournies à une question des questionnaires 01 et 02

Source : Journaux, 2018 : 184 et 236.



Figures 4 et 5 – Distribution des dimensions repérées sur les réponses fournies à une question des questionnaires 01 et 02

Source : Journaux, 2018 : 196 et 246.

La comparaison des dimensions évoquées en réponse à des questions posées avant et après enseignement portant toutes les deux sur l'observation révèle des modifications similaires du profil de la classe (voir Figures 4 et 5) et significatives ($p < 2,3 \cdot 10^{-5}$). Si avant enseignement, les justifications relèvent en premier lieu de la dimension « Communauté » (au travers de la diversité des acteurs et de leur façon de penser), après enseignement elles correspondent aux dimensions visées (présupposés, observation inscrite), élaboration (diversité des démarches), société (contexte culturel) et attitudes/qualités (scientifiques croyants/religion).

Richesse des représentations de la NoS

Sur les réponses fournies par la classe au questionnaire Q1, 242 évocations des neuf dimensions ont été dénombrées. La dimension « Élaboration » est plus évoquée que les dimensions associées à l'inscription humaine et sociale des savoirs (voir Figure 6, séance 1). Les réponses des élèves au questionnaire Q2 sont plus fournies (282 évocations). La répartition des dimensions évoquées indique une inscription humaine et sociale plus grande qu'avant enseignement (voir Figure 6, séance 2) : les dimensions « Objets » et « Élaboration » sont moins présentes contrairement aux dimensions « Visées », « Société » et « Attitude ». La différence de répartition des dimensions évoquées sur l'ensemble des questionnaires Q1 et Q2 est significative ($p = 3,8 \cdot 10^{-3}$).

Le nombre moyen d'évocation des neuf dimensions par élève avant enseignement pour le questionnaire Q1 est de 8,1, l'écart type étant de 2,1 et les valeurs minimale et maximale de 3 et 14, soit 1,35 dimension évoquée par élève et question. Deux élèves pour lesquels le même nombre moyen d'évocations à un questionnaire est repéré peuvent évoquer des dimensions différentes de la NoS, renvoyant ainsi des représentations différentes (voir l'exemple donné à la figure 7 dans le cas du questionnaire Q1).

Le nombre moyen d'évocations des neuf dimensions par élève après enseignement est plus élevé. Il est de 9,4 pour le questionnaire Q2, soit 1,57 par élève et question. On note une hétérogénéité plus grande de la classe (ce qu'indique également la figure 8) : l'écart-type du nombre moyen d'évocation des dimensions par élève est de 3,1, les valeurs minimale et maximale étant de 1 et 17. L'évolution avant et après enseignement est significative ($p = 1,2 \cdot 10^{-2}$).

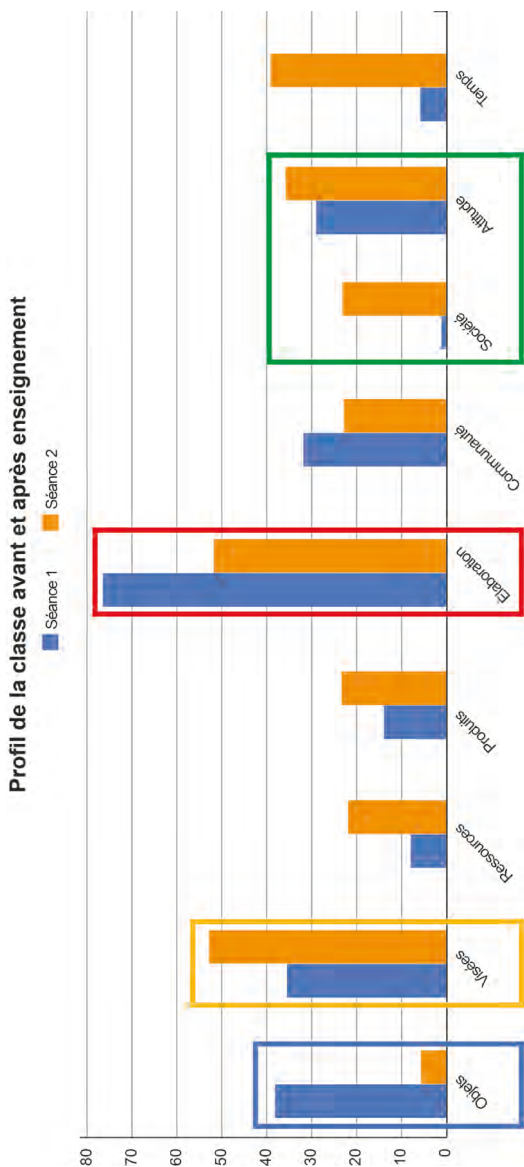


Figure 6 – Distributions des dimensions repérées sur les réponses fournies par la classe à l'ensemble des questions d'un questionnaire passé avant ou après enseignement

Source : D'après Journaux, 2018, 222 et 272.

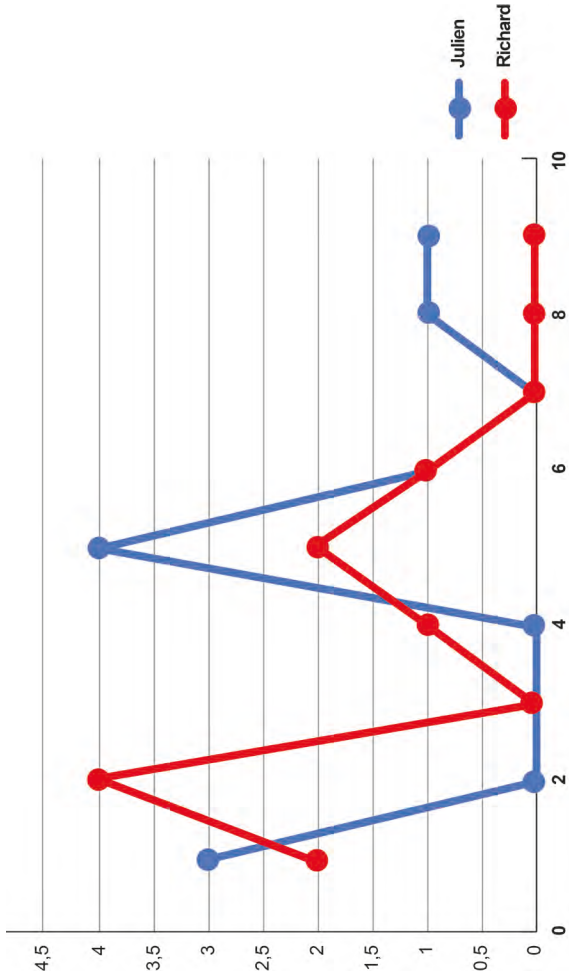


Figure 7 – Profils de deux élèves avant enseignement pour lesquels le nombre d'unités analysées en termes de dimensions est identique (=10)

Source : Journaux, 2018 : 221.

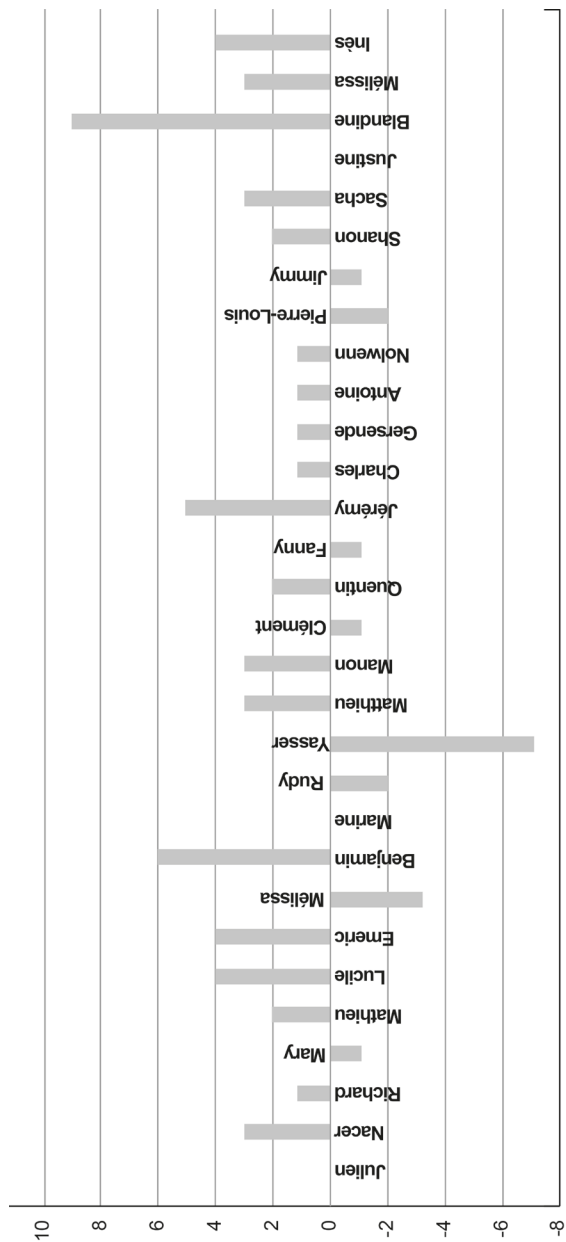


Figure 8 – Différences entre les nombres de dimensions repérées pour chaque élève avant et après la séquence

Source : Journaux, 2018 : 271.

Réception de la séquence par les élèves

La dernière question du questionnaire Q2 comportait deux parties, la première porte sur la place de la réflexion sur les sciences dans la formation d'une personne, et en particulier d'un scientifique (*est-ce qu'il vous semble important de réfléchir sur ce qu'est l'activité scientifique ?*), la seconde appelle les élèves à la réflexivité (*ne peut-on considérer que vous aviez vous-même une forme de présupposé vis-à-vis de l'activité scientifique elle-même ?*).

La majorité des élèves (83 %) soutiennent qu'il est important de réfléchir sur ce qu'est l'activité scientifique. Parmi les élèves qui affirment le contraire, certains précisent que cette activité est difficile et d'autres qu'elle est en dehors du contrat didactique : « *Non, car il y a des théories plus importantes sur lesquelles il faut réfléchir.* » Ce résultat rejoint celui obtenu par Mohamed Slaïmia (2014 ; Slaïma & Maurines, 2017) qui constate que certains élèves de la classe de niveau plus faible affirment que d'autres choses plus importantes sont à faire. Parmi les élèves qui trouvent un intérêt à l'introduction de l'HS dans les cours de sciences, certains se projettent en tant que futurs scientifiques : « *Cela nous concerne. Si nous sommes en S, nous serons impliqués plus tard dans l'activité scientifique* », « *Il est important pour nous qui travaillons les sciences d'en savoir [sur] son essence et du comment travailler en science. Il faut savoir être ouvert et non dogmatique en science pour aller plus loin.* » D'autres ne se positionnent pas en tant que scientifique : « *La science permet de mieux comprendre le monde qui nous entoure* », « *Cela est important, car cela nous concerne tous.* » D'autres enfin développent l'argument de l'apprentissage des savoirs scientifiques : « *C'est important, car on ne sait pas d'où viennent ces calculs.* »

Une majorité d'élèves fait preuve de réflexivité : 73 % d'entre eux reconnaissent qu'ils avaient une forme de présupposé sur la NoS avant de débiter la séquence, 20 % affirmant le contraire. Les justifications fournies mettent en lumière la dimension théorique, les présupposés, la dimension sociale (argumentation, controverses) : « *On considère que la science serait capable de tout expliquer ; c'est peut-être faux* », « *Avant je supposais que tout ce que la science disait était vrai.* »

Discussion et conclusion

Revenons sur les résultats que nous venons de présenter avant de développer quelques-unes des questions qui méritent d'être explorées en lien avec le cadre théorique.

Les résultats obtenus avant enseignement renvoient une vision des sciences que l'on peut qualifier d'empirico-inductive et rejoignent ceux de la littérature, ce qui confirme l'hypothèse/présupposé de recherche sur les représentations des élèves et conforte le choix de l'objectif travaillé en classe. Ceux obtenus après enseignement montrent une inscription humaine et socio-culturelle davantage présente. Les contraintes de l'expérimentation ont conduit le doctorant à explorer les représentations des élèves avec des questions abordant le même point épistémologique, mais formulées différemment. Si l'on ne peut exclure l'éventualité d'un lien avec les différences observées, l'hypothèse est faite que c'est la séquence elle-même qui a permis l'évolution des représentations, hypothèse qui semble renforcée par les résultats obtenus quinze jours plus tard et qui confirme l'hypothèse/présupposé de recherche sur la possibilité de faire évoluer les représentations des élèves grâce à l'HS.

Si l'impact de la séquence semble positif, voire très positif pour la plupart des élèves, il doit être nuancé. En effet, les résultats montrent une hétérogénéité plus grande de la classe après enseignement qu'avant et un retrait de quelques élèves des activités proposées. Cela interroge sur la possibilité et la façon d'engager l'ensemble d'une classe dans une réflexion épistémologique et des activités documentaires. Se pose également la question de la généralisation de ces résultats. Un autre objectif épistémologique, une autre séquence rencontreraient-ils le même accueil ? Seraient-ils les mêmes avec un autre enseignant non engagé dans une recherche doctorale ?

Si les résultats obtenus après enseignement semblent indiquer une évolution des représentations des élèves relative aux objectifs explicitement travaillés et institutionnalisés (rapport théorie-observation et l'inscription humaine et sociale des pratiques), ils ne permettent pas d'affirmer que les représentations des élèves correspondent à une vision socio-constructiviste des sciences. La question du rapport des savoirs à

la réalité a en effet été plus délicate à évaluer au travers des questions posées. Les justifications fournies suggèrent une vision réaliste « naïve », de « vérités » et d'erreurs à éviter pour l'atteindre, et résonnent ainsi avec des constats observés dans les années 1990, par exemple par Larochelle et Désautels (1992). Cela conduit à interroger non seulement les questions posées aux élèves, mais aussi la séquence elle-même. Au cours de cette séquence, originale à maints égards, il s'est agi en effet non seulement d'élaborer des documents et un dispositif répondant à un objectif épistémologique peu, voire pas travaillé dans la littérature, mais aussi de mobiliser des outils d'analyse nouveaux. Arrivés au terme de la recherche, se pose la question de la progressivité des objectifs qui permettrait d'explorer *in fine* le rapport du modèle à la réalité, et celle connexe de la progressivité de la *NoS*, autrement dit de la focale à retenir pour chaque objectif poursuivi.

Au travers de cet exemple, nous avons souhaité mettre en lumière comment le cadre théorique d'orientation didactique a soutenu l'élaboration de la séquence, son expérimentation et l'analyse des résultats obtenus. Parmi les questions dont l'exploration mérite d'être poursuivies, certaines portent sur la mobilisation des deux cadres d'analyse de la *NoS* en tant qu'outils. La grille multidimensionnelle de la *NoS* a permis de caractériser les éléments historiques introduits dans les textes et de repérer l'inscription humaine et sociale des sciences, de caractériser les profils et degré d'homogénéité d'une classe, de comparer les profils des élèves. La réflexion sur la façon de mobiliser cette grille pour étudier les représentations, notamment sur la façon de l'articuler avec une étude des positionnements, demande à être prolongée. Une analyse à un grain plus fin des dimensions et un examen des liens établis entre dimensions et sous-dimensions semblent nécessaires. De plus, une question demeure, celle sur la façon de mobiliser la grille afin d'apprécier la complexité des représentations. Si le schéma de la modélisation fondée sur des présupposés a également permis de caractériser les éléments historiques introduits dans les textes et a inspiré le schéma fourni aux élèves, ainsi que celui de la synthèse des informations et institutionnalisation, il a été peu mobilisé en tant que tel dans l'analyse des réponses, même s'il l'a soutenue. Le travail esquissé sur les réponses à la question portant sur les

arguments en faveur de l'héliocentrisme demande à être poursuivi, ce qui suppose d'inscrire/articuler le cadre de la modélisation dans le cadre des pratiques.

Pour terminer, notons que l'élaboration et l'expérimentation d'une séquence innovante par un chercheur conduisent à s'interroger sur les modalités de sa diffusion auprès des enseignants. Il s'agit alors d'examiner, entre autres, la réception du dispositif par ces derniers, leur appropriation et leur mise en œuvre des ressources fournies. Des études montrent que poursuivre un objectif épistémologique en classe de science suscite parfois des réticences fortes chez les enseignants (Slaïmia, 2014) et soulève des difficultés significatives (Höttecke, Henke & Riess, 2012). Les premières sont en lien avec les représentations de l'enseignement des sciences (les visées et les contenus de formation) et les secondes avec leur formation. La place désormais accordée à la dimension épistémologique par les programmes d'enseignement de sciences et de formation d'enseignants (si elle n'est pas encore opérationnalisée, elle est tout au moins davantage présente et explicitée) laisse espérer une évolution favorable de l'introduction de l'HS à des fins épistémologiques et invite à l'exploration d'éventuelles évolutions.

Références bibliographiques

- ABD-EL-KHALICK Fouad, 2013. « Teaching *With* and *About* Nature of Science, and Science Teacher Knowledge Domains », *Science & Education*, 22 (9), p. 2087-2107, <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9520-2>.
- ADÚRIZ-BRAVO Agustín, 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. Rizaki (eds), *Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom*, Rotterdam, SensePublishers, p. 195-204, https://doi.org/10.1007/978-94-6091-349-5_14.
- ALLCHIN Douglas, 2004. « Pseudohistory and Pseudoscience », *Science & Education*, 13, p. 179-195, <https://doi.org/10.1023/B:SCED.0000025563.35883.e9>.
- ALLCHIN Douglas, 2011. « Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science », *Science Education*, 95 (3), p. 518-542, <https://doi.org/10.1002/sce.20432>.

- BEAUFILS Daniel & MAURINES Laurence, 2013. « L'image de la physique au travers de l'enseignement de la spectroscopie : propositions didactiques », *Le Bup. Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 107 (956), p. 657-679.
- BEAUFILS Daniel, MAURINES Laurence & CHAPUIS Claude, 2010. « Comptendu d'enquête sur l'histoire des sciences auprès d'enseignants de physique et chimie », *Le Bup. Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 104 (924), p. 581-598.
- CHAREIX Fabien, 2011. *La révolution galiléenne. Cosmos et univers*, Paris, Ellipses.
- CHENG Meng-Fei & LIN Jang-Long, 2015. « Investigating the Relationship between Students' Views of Scientific Models and Their Development of Models », *International Journal of Science Education*, 37 (15), p. 2453-2475, <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1082671>.
- CHEVALLARD Yves, 1985. *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*, Grenoble, Éditions La pensée sauvage.
- COBERN William W. & AIKENHEAD Glen S., 1998. « Cultural Aspects of Learning Science », in B. J. Fraser & K. G. Tobin (eds), *International Handbook of Science Education*, Dordrecht, Kluwer Academic, p. 39-52.
- DÉCAMP Nicolas & HOSSON Cécile de, 2012. « Implementing Eratosthenes' Discovery in the Classroom: Educational Difficulties Needing Attention », *Science & Education*, 21 (6), p. 911-920, <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9286-3>.
- DENG Feng, CHEN Der-Thanq, TSAI Chin-Chung & CHAI Ching Sing, 2011. « Students' Views of the Nature of Science: A Critical Review of Research », *Science Education*, 95 (6), p. 961-999, <https://doi.org/10.1002/sce.20460>.
- DUSCHL Richard A., & GRANDY Richard, 2013. « Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science », *Science & Education*, 22 (9), p. 2109-2139, <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>.
- ERDURAN Sibel & DAGHER Zoubeida R, 2014. *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education: Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*, Dordrecht, Springer.
- FAUQUE Danielle, 2006. « La "longue marche" d'un enseignement de l'histoire des sciences et des techniques », *Tréma*, 26, p. 34-47, <https://doi.org/10.4000/trema.83>.

- GINGRAS Yves, 2016. *L'impossible dialogue. Sciences et religions*, Paris, Presses universitaires de France.
- HENKE Andreas & HÖTTECKE Dietmar, 2015. « Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching », *Science & Education*, 24 (4), p. 349-385, <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9737-3>.
- HODSON Derek, 2009. *Teaching and Learning about Science: Language, Theories, Methods, History, Traditions and Values*, Rotterdam/Boston, Sense publishers.
- HOSSON Cécile de & KAMINSKI Wanda, 2007. « Historical Controversy as an Educational Tool: Evaluating Elements of a Teaching-Learning Sequence Conducted with the Text "Dialogue on the Ways that Vision Operates" », *International Journal of Science Education*, 29 (5), p. 617-642, <https://doi.org/10.1080/09500690600802213>.
- HÖTTECKE Dietmar, HENKE Andreas & RIESS Falk, 2012. « Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project », *Science & Education*, 21 (9), p. 1233-1261, <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9330-3>.
- HULIN Nicole, 1996. « Histoire des sciences et enseignement scientifique. Quels rapports ? Un bilan XIX^e-XX^e siècles », *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 90 (786), p. 1201-1243.
- JOURNAUX Nicolas, 2018. *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, sous la dir. de L. Maurines, Orsay, Université Paris-Saclay.
- JOURNAUX Nicolas & MAURINES Laurence, 2020. « Représentations d'élèves sur le physicien et l'observation. la transition géo-héliocentrique en classe de terminale scientifique », in M.-N. Hindryckx & C. Poffé (dir.), *Actes des onzièmes rencontres scientifiques de l'Association pour la recherche en didactique des sciences et technologies (ARDiST)*, Bruxelles, ARDiST, p. 693-703, https://ardist2020.sciencesconf.org/data/pages/ACTES_LAST.pdf (consulté le 27/03/2024).
- KUHN Thomas S., 1983. *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, Flammarion.
- LAROCHELLE Marie & DÉSAUTELS Jacques, 1992. *Autour de l'idée de science. Itinéraires cognitifs d'étudiants*, Bruxelles, De Boeck Université.
- LEBEAUME Joël, 1999. *L'éducation technologique. Histoires et méthodes*, Paris, ESF éditions.

- LEDERMAN Norman G., 2007. « Nature of Science: Past, Present and Future », in S. K. Abell & N. G Lederman (eds), *Handbook of Research on Science Education*, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, p. 831-879.
- MARTINAND Jean-Louis, 1986. *Connaître et transformer la matière. Des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*, Berne, Peter Lang.
- MAURINES Laurence, 2010. « L'enseignement des sciences face au fait religieux. Au-delà des savoirs : l'idée de science », in L. Maurines (dir.), *Sciences et religions. Quelles vérités ? Quel dialogue ?*, Paris, Vuibert, p. 346-377.
- MAURINES Laurence & BEAUFILS Daniel, 2011. « Un enjeu de l'histoire des sciences dans l'enseignement : l'image de la nature des sciences et de l'activité scientifique », *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 3, p. 271-305, <https://doi.org/10.4000/rdst.444>.
- MAURINES Laurence, GALLEZOT Magali, RAMAGE Marie-Joëlle & BEAUFILS, Daniel, 2013. « La nature des sciences dans les programmes de seconde de physique-chimie et de sciences de la vie et de la Terre », *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 7, p. 19-52. <https://doi.org/10.4000/rdst.674>.
- MORIN Edgar, 2000. *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*, Paris, Éditions du Seuil.
- MONK Martin & OSBORNE Jonathan, 1997. « Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy », *Science Education*, 81 (4), p. 405-424, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199707\)81:4%3C405::AID-SCE3%3E3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199707)81:4%3C405::AID-SCE3%3E3.0.CO;2-G).
- OSBECK Lisa M., NERSESSIAN Nancy J., MALONE Karen R. & NEWSTETTER Wendy C., 2013. *Science as Psychology: Sense-Making and Identity in Science Practice*, New York, Cambridge University Press.
- SLAÏMIA Mohamed, 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*, thèse de doctorat, sous la dir. de L. Maurines & N. Ben Nessib, Université Paris-Sud/ISFEC-Tunis 1.
- SLAÏMIA Mohamed & MAURINES Laurence, 2017. « La diversité des pratiques scientifiques au travers de l'histoire de la dioptrique : expérimentation d'une innovation pédagogique en classe de seconde en Tunisie », *RDST. Revue en didactique des sciences et des technologies*, 15, p. 169-201, <https://doi.org/10.4000/rdst.1507>.

TOULMIN Stephen, 1973. *L'explication scientifique*, Paris, Armand Colin.

TREAGUST David F., CHITTELBOROUGH Gail & MAMIALA Thapelo L., 2002. « Students' Understanding of the Role of Scientific Models in Learning Science », *International Journal of Science Education*, 24 (4), p. 357-368, <https://doi.org/10.1080/09500690110066485>.

Annexes

Annexe 1 : Un des textes du dossier dont quelques éléments sont rapprochés du cadre théorique sur la *NoS* et de la modélisation fondée sur des présupposés

a. 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 orbes 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.

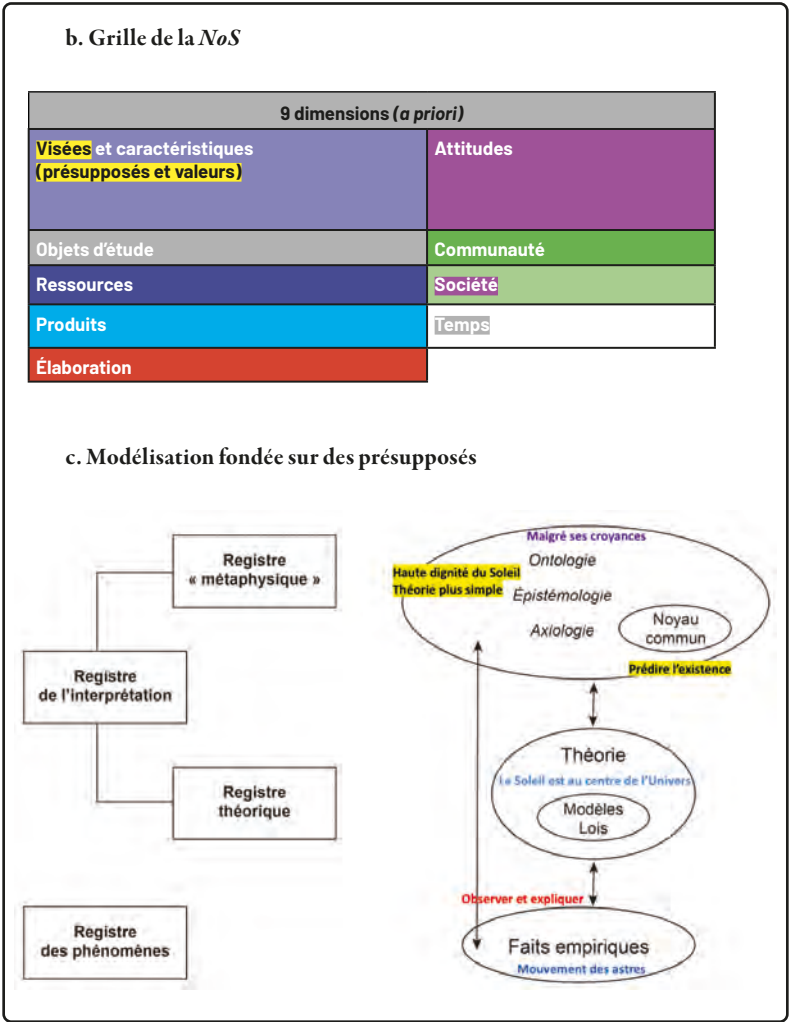
Bien que l'idée même d'une Terre en mouvement s'oppose à l'explication d'Aristote, Copernic admet encore le fait que les astres décrivent des cercles parfaits. Ainsi, selon lui, les planètes tournent autour du Soleil selon un mouvement circulaire uniforme.

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 Brahe**, 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)



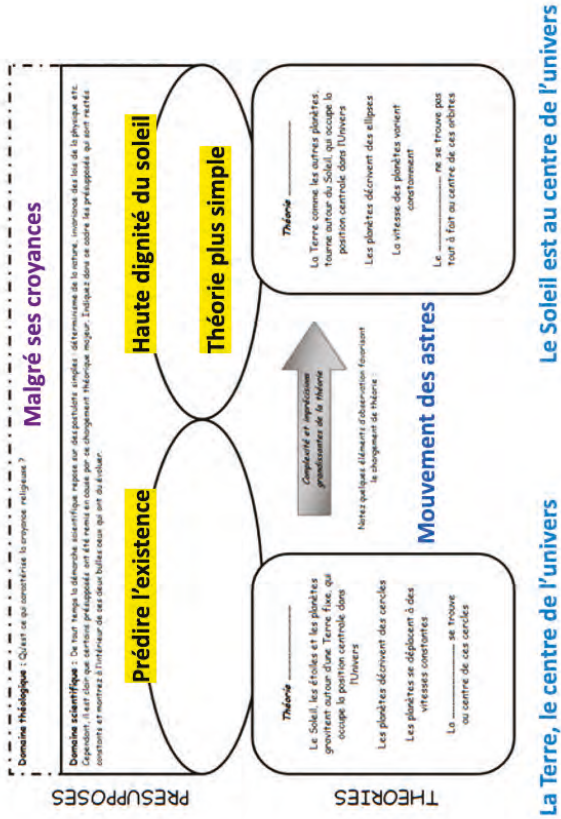
Source : D'après Journaux & Maurines, 2020 : 701.

Annexe 2 : Le tableau et les diagrammes proposés aux élèves au cours de la séquence

Scientifique ?	Position ?		Nouveaux éléments ?	Quels arguments ?	Position contradictoire avec vision cosmologique classique du christianisme ?		Opposition directe à la religion ?	
	Géo	Hélio			Oui	Non	Oui	Non
Copernic		x	interprète mouvement planètes	théorie plus simple, pas plus précise	Oui	Non		x

a. Tableau pour extraire les informations d'un texte (exemple de Copernic)

Source : Journaux & Maurines, 2020 : 702.



b. Diagramme pour préparer la synthèse (exemple de Copernic)

Source : Journaux & Maurines, 2020 : 702.

Annexe 3 : Schéma de synthèse élaboré par l'enseignant/doctorant et distribué aux élèves

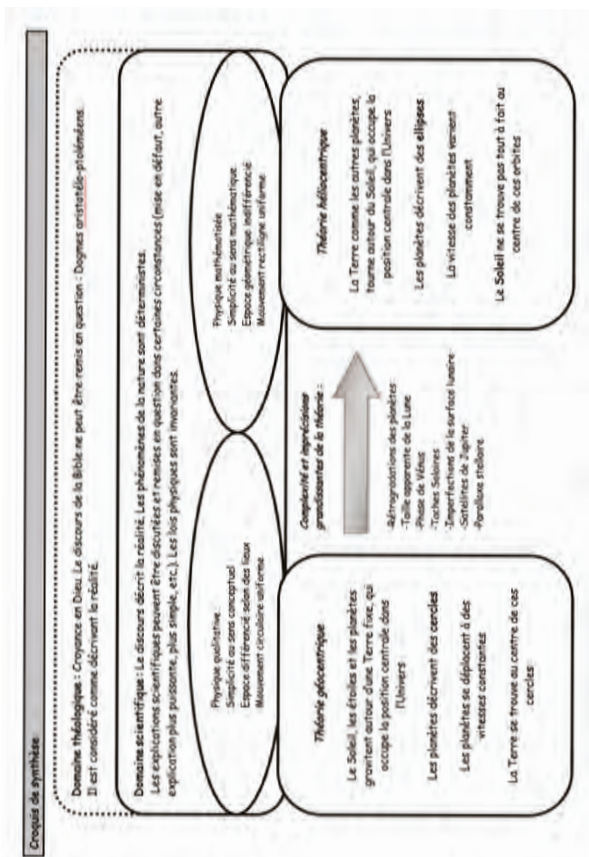


Diagramme de synthèse renseigné

Note : Il est à noter le décalage entre la conception socio-constructiviste de la science sur laquelle repose la séquence et l'emploi de l'expression « le discours décrit la réalité ».

APPRENDRE ET PENSER LES SCIENCES DANS L'ENSEIGNEMENT ET LA FORMATION SCIENTIFIQUE

VERS UNE INTERDISCIPLINARITÉ

DIDACTIQUE - HISTOIRE DES SCIENCES - ÉPISTÉMOLOGIE

Le monde contemporain doit relever de nombreux défis qui nécessitent un regain d'intérêt pour les métiers scientifiques, en particulier de la part des femmes. Ils requièrent également l'acquisition, par tout citoyen, d'une culture scientifique qui lui permette de penser et d'agir dans des contextes variés. Parmi les leviers envisagés pour l'enseignement des sciences par les textes ministériels français relatifs aux réformes de ces vingt dernières années figure l'introduction de l'histoire des sciences et d'éléments de nature épistémologique. Les attendus institutionnels de cette introduction restent peu explicites et opérationnalisés.

Ce volume vise à participer au développement, en France, de travaux sur l'introduction de l'histoire des sciences et de l'épistémologie dans l'enseignement et la formation scientifique (amplement documentés à l'étranger), tout en apportant un regard critique. Il discute des enjeux éducatifs et sociétaux de cette introduction et des questions qu'elle soulève quant aux objectifs d'apprentissage à poursuivre et des stratégies à mobiliser en classe, ainsi que des méthodologies de recherche à mettre en œuvre.

La réflexion est conduite dans le cadre d'un champ disciplinaire donné, la physique. Différents thèmes au programme d'enseignement du secondaire ou du début du supérieur (la vision, le principe d'inertie, le mouvement des planètes, le temps en mécanique relativiste, la dynamique des fluides) sont abordés. Divers objectifs d'apprentissage (appropriation des concepts scientifiques, raisonnement des élèves, représentations de la/des science(s), pensée critique) et deux stratégies d'enseignement (implicite et explicite) sont envisagés.

Les didacticiens, historiens et épistémologues des sciences réunis ici proposent des regards croisés et complémentaires, conduisant à simplifier ou au contraire à enrichir le discours historique, selon les objectifs d'apprentissage visés. Ils montrent ainsi la fécondité d'une réflexion interdisciplinaire.