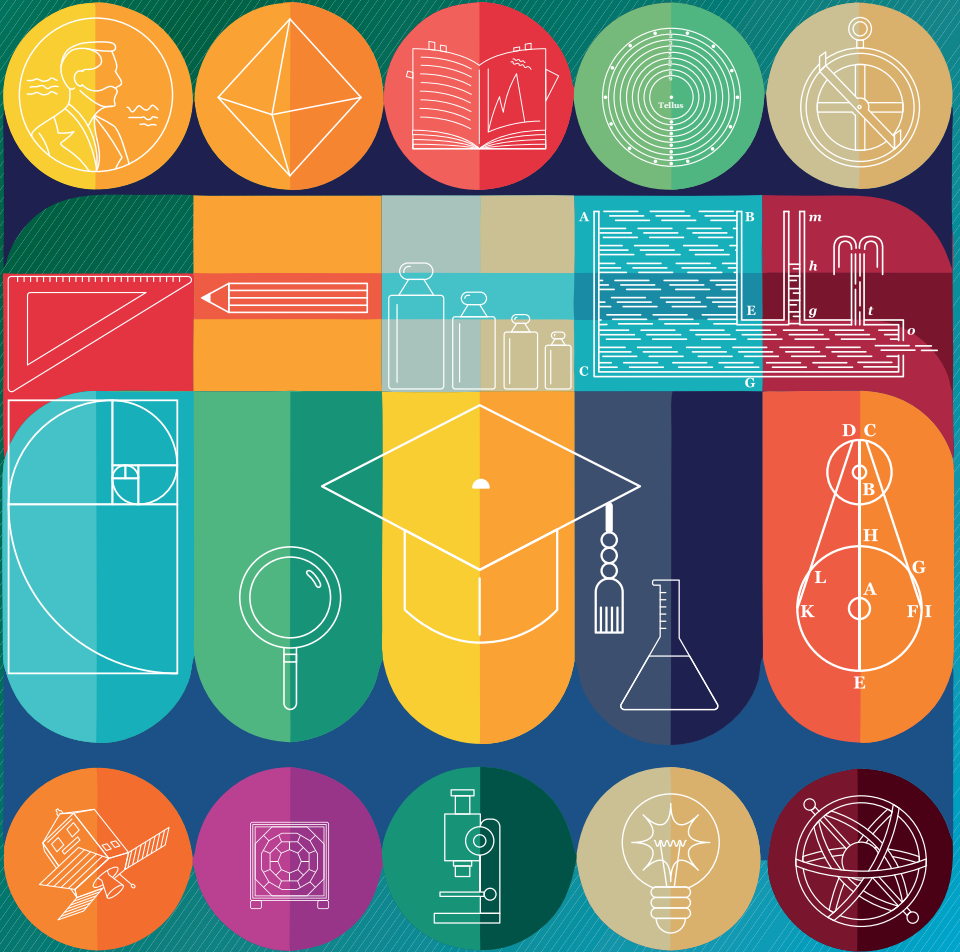




APPRENDRE ET PENSER LES SCIENCES DANS L'ENSEIGNEMENT ET LA FORMATION SCIENTIFIQUE

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

Postface

*Pourquoi et comment introduire l’histoire des sciences
dans l’enseignement scientifique ?
Une tentative de mise en perspective des contributions de l’ouvrage*

Manuel BÄCHTOLD

Ce chapitre propose une mise en perspective des contributions de l’ouvrage. Deux objectifs d’apprentissage majeurs liés à l’introduction de l’histoire des sciences en classe sont distingués : l’acquisition de connaissances scientifiques et le développement de représentations riches et critiques des sciences. Les enjeux éducatifs sous-jacents à ces objectifs sont également identifiés : la préparation aux métiers scientifiques et la formation de futurs citoyens. Il est pointé que l’intégration de ces objectifs dans les programmes scolaires est relativement récente et qu’elle remplace une approche antérieure de l’histoire des sciences qui servait à transmettre des valeurs morales en réifiant la vérité. La mise en perspective met en lumière le fait que les objectifs d’apprentissage peuvent donner lieu à des stratégies d’enseignement en partie opposées : soit épurer l’histoire des sciences de certains détails pour favoriser l’acquisition de connaissances scientifiques, soit l’enrichir en mettant l’accent sur certaines étapes pour développer les représentations des sciences. Ce chapitre termine par une discussion sur les aspects épistémologiques qui peuvent ou méritent d’être étudiés en classe à partir de l’histoire des sciences.

MOTS-CLÉS : histoire des sciences, didactique des sciences, enseignement scientifique, épistémologie

Le projet qui réunit les contributions du présent ouvrage est celui de promouvoir la recherche concernant l’introduction de l’histoire des sciences dans l’enseignement scientifique, et ce en croisant les regards de chercheurs en didactique des sciences avec ceux d’historiens des sciences. Les

deux principales questions qui sous-tendent cette réflexion collective sont les suivantes : *pourquoi* et *comment* introduire l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique ? La question du « pourquoi » renvoie aux objectifs d'apprentissage et plus largement aux enjeux éducatifs pouvant être assignés à ce recours à l'histoire des sciences dans le contexte particulier de la classe de sciences. La question du « comment » renvoie quant à elle à la méthode qu'il convient de privilégier pour introduire l'histoire des sciences en classe, c'est-à-dire à la stratégie d'enseignement, mais aussi aux moyens à mettre en œuvre et aux ressources à mobiliser. Derrière la stratégie d'enseignement se cachent également les deux questions suivantes : quelle histoire des sciences introduire en classe et quels aspects épistémologiques du fonctionnement des sciences y aborder ? Le présent chapitre propose une tentative de mise en perspective des contributions de l'ouvrage au prisme de ces différentes questions et de la littérature de recherche relevant de la *Nature of Science (NoS)* dans le champ de la didactique des sciences.

Pourquoi introduire l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique ?

L'histoire des sciences est un domaine à la fois très vaste et complexe à appréhender. L'introduire dans l'enseignement, à l'école ou à l'université, n'a rien d'évident. Les enseignants doivent être formés pour cela et, en amont, les chercheurs doivent mener des travaux historiques, épistémologiques et didactiques pour développer des stratégies d'enseignement efficaces et constituer des ressources pertinentes pour les enseignants et leurs élèves. Qu'est-ce qui justifie un tel investissement ? Pour quels objectifs d'apprentissage l'histoire des sciences peut-elle constituer une plus-value ? Deux principales réponses sont apportées par les auteurs des chapitres de cet ouvrage : (A) favoriser l'acquisition par les élèves de connaissances scientifiques et (B) enrichir leurs représentations des sciences.

Le premier objectif se trouve au cœur des réflexions et de l'étude présentées dans le chapitre de Cécile de Hosson qui en parle en termes d'« apprentissage conceptuel ». Les exemples de contenus conceptuels considérés sont, d'une part, ceux de la mécanique et de la notion de force et, d'autre part, ceux de vision et de lumière. Au regard de cet objectif,

l'intérêt de l'histoire des sciences est de mieux comprendre les difficultés conceptuelles que peuvent rencontrer les élèves, mais aussi d'envisager les étapes par lesquelles ils peuvent passer, sur le plan conceptuel, afin de surmonter ces difficultés et s'approprier les connaissances scientifiques visées. Des parallèles entre l'évolution des idées dans l'histoire des sciences et celle des idées des élèves peuvent être opérés pour « fournir des pistes susceptibles de façonner un parcours d'apprentissage » ou, autrement dit, pour imaginer un « cheminement cognitif des élèves ». Considérant l'exemple de la mécanique des fluides, Clément Crastes met lui aussi en avant les éclairages que l'histoire des sciences peut apporter sur les difficultés des élèves sur le plan conceptuel et les séquences d'enseignement qu'elle permet ainsi de penser : « recourir à l'histoire des sciences peut être l'occasion d'étudier les conceptions de scientifiques d'autrefois et leur évolution au sein d'une communauté de recherche, d'y déceler des pistes permettant d'émettre des hypothèses sur les difficultés des élèves, d'élaborer des dispositifs d'enseignement adaptés, en ravivant le questionnement scientifique ».

À ce sujet, on peut distinguer deux usages distincts de l'histoire des sciences : celui des chercheurs, en amont de la classe, afin de mieux comprendre les étapes possibles d'apprentissage des élèves, et celui des enseignants et des élèves, en classe, pour étudier, manipuler et/ou discuter des idées formulées par des scientifiques dans le passé. Le premier usage n'implique pas nécessairement le second. L'histoire des sciences peut être utilisée à des fins de meilleure compréhension de la pensée des élèves, sans qu'il soit besoin d'aborder avec eux cette histoire des sciences.

Concernant ce premier usage de l'histoire des sciences, Cécile de Hosson nous met en garde. Opérer des analogies entre l'évolution de la pensée des scientifiques dans l'histoire et celle de la pensée des élèves aujourd'hui peut certes se révéler « heuristique ». En l'occurrence, cela lui a permis d'identifier une difficulté liée à la conceptualisation de la vision (le phénomène d'éblouissement que peut produire la lumière lorsqu'elle pénètre dans l'œil) et de proposer une stratégie pour la surmonter. Cependant, ces analogies présentent plusieurs limites qui invitent à la prudence. Si les élèves font appel à des notions qui en évoquent des anciennes, comme celle de *l'impetus* (une forme d'élan transmise à un objet et

contenue en lui temporairement), ils ne les appliquent généralement pas de façon systématique et rigoureuse comme les scientifiques par le passé. C'est un point que Rosalind Driver, Edith Guesne et Andrée Tiberghien (dir., 1985) ont également remarqué : les similitudes entre les conceptions des élèves et celles des scientifiques dans l'histoire sont limitées, dans la mesure où les premières sont souvent beaucoup moins cohérentes que les secondes. D'après Colin Gauld (1991), cette différence pourrait s'expliquer par le fait que les élèves manipulent les notions en question sans en avoir conscience, contrairement aux scientifiques qui les appliquent de façon consciente, rationnelle et contrôlée. Négliger ces limites peut conduire à l'idée d'une évolution unique et nécessaire de la pensée, celle suivie par les scientifiques dans le passé et celle que devraient donc aussi suivre les élèves en classe. Cette vision rigide, critiquée par Cécile de Hosson, est également évoquée par Pierre Savaton dans son exploration de l'histoire de l'enseignement scientifique. Elle se trouve notamment exprimée par Henri Poincaré en 1908 qui écrit : « L'éducateur doit faire repasser l'enfant par où ont passé ses pères ; plus rapidement mais sans brûler d'étape. À ce compte, l'histoire de la science doit être notre premier guide » (Poincaré, [1908] 1920 : 135 ; citation tirée de la contribution de Pierre Savaton). Les recherches empiriques récentes sur les *learning progressions* montrent certes des tendances chez les élèves à maîtriser les différents aspects d'un concept de base des sciences (comme la matière, l'énergie ou l'évolution biologique) selon certaines étapes, mais il ne s'agit que de tendances et les cheminements cognitifs des élèves sont nombreux et complexes (Jin *et al.*, 2019). Postuler l'existence d'une évolution unique de la pensée, c'est ignorer ce pluralisme des modes de pensée des élèves et risquer d'appauvrir les stratégies d'enseignement pouvant être développées et testées.

Le second objectif assigné à l'introduction de l'histoire des sciences en classe, celui d'enrichir les représentations des sciences des élèves, motive les études présentées par Laurence Maurines et Christian Bracco. Au point de départ de ces études se trouve un constat, qui a été documenté par de nombreuses recherches antérieures : les élèves et les étudiants, mais aussi leurs enseignants, partagent des représentations des sciences qui sont généralement naïves, voire « incohérentes », suivant l'expression de Laurence Maurines, ou formant une « mosaïque », suivant celle de Clément Crastes.

Ces représentations peuvent être qualifiées de naïves au sens où elles réduisent la complexité des rapports entre théorie et expérience à des schémas simplistes (par exemple, l'expérience précède la théorie ou une expérience suffit à vérifier une théorie) et ignorent la richesse des pratiques effectives des scientifiques (par exemple, le rôle de la modélisation ou de l'argumentation). Cette richesse des pratiques scientifiques a notamment été mise en lumière par les travaux des philosophes des sciences depuis les années 1970 contribuant à ce qui est appelé le « tournant pratique » (Soler *et al.*, 2014). La question de l'« incohérence » des représentations des élèves ou des enseignants est peut-être plus complexe à décrire et à évaluer. Les représentations des sciences des élèves ou des enseignants peuvent apparaître « incohérentes » aux yeux des chercheurs lorsque ceux-ci les évaluent globalement, suivant un critère de cohérence épistémologique. En ce sens, comme l'observe Maria Teresa Guerra-Ramos (2012), les enseignants ont généralement des points de vue éclectiques qui ne peuvent être rapprochés d'une position épistémologique unique. Cependant, il est raisonnable d'admettre que tout individu a une cohérence dans ses représentations qui est relative aux situations dans lesquelles il est impliqué. La cohérence des enseignants pourrait ainsi être trouvée non pas dans leurs représentations des sciences prises isolément, mais dans celles des sciences associées à leurs pratiques d'enseignement et, corrélativement, à d'autres types de connaissances requises pour l'enseignement, qu'elles soient disciplinaires, pédagogiques ou didactiques (Bächtold, Cross & Munier, 2021 ; Waters-Adams, 2006). On pourrait ainsi expliquer le fait qu'un enseignant reconnaisse à l'héliocentrisme, mais non à l'atome, le statut de modèle pouvant évoluer. Sans une formation leur offrant des opportunités de discuter sur le plan épistémologique différents aspects du fonctionnement des sciences, les enseignants peuvent très bien se satisfaire de cohérences relatives à des situations particulières et ne pas ressentir le besoin de se forger des représentations des sciences avec une cohérence globale. *A fortiori*, on peut penser qu'il en va de même pour leurs élèves.

Partant de ce constat, Laurence Maurines et Christian Bracco proposent des stratégies d'enseignement dont l'objectif est de permettre aux élèves et aux étudiants de développer des représentations plus « riches » et plus « authentiques » des sciences (suivant les termes de Laurence Maurines), et

en particulier de « mieux cerner le caractère évolutif de la pensée scientifique » (suivant l'objectif plus ciblé de Christian Bracco). Dans les contributions de Clément Crastes et de Cécile de Hosson, cet objectif est également affiché, bien que de façon secondaire par rapport à celui de favoriser l'acquisition, par les élèves, de connaissances scientifiques. Clément Crastes écrit ainsi que : « Introduire l'histoire des sciences dans l'enseignement peut être aussi l'occasion de développer la réflexion des élèves sur la nature des savoirs scientifiques et de leurs modes d'élaboration, et plus largement sur la *NoS* ». Cécile de Hosson, dans la dernière partie de son chapitre, évoque les « objectifs d'apprentissage [...] relatifs à la Nature de la Science » pouvant être associés à la stratégie d'enseignement qu'elle propose, et plus précisément une « sensibilisation des élèves, des étudiant-es à ce qui fonde l'entreprise humaine et socio-culturelle de la science, à la nature des sciences ».

L'exploration historique des programmes d'enseignement scientifique menée par Pierre Savaton et présentée dans son chapitre semble indiquer que les deux objectifs A et B considérés ci-dessus n'apparaissent que tardivement dans les programmes, dans les années 2000, et met au jour d'autres objectifs qui ont été associés par le passé à l'usage de l'histoire des sciences en classe. Les objectifs A et B sont ainsi formulés en 2004 dans les programmes de sciences de la vie et de la Terre (SVT) des classes de sixième :

[l'histoire des sciences] permet de [...] faire réfléchir [les élèves] sur la façon dont se construisent les savoirs, de manière rarement linéaire et progressive mais par tâtonnements, par remise en cause de théories incomplètes ou erronées. C'est également une façon de prendre en considération les représentations et obstacles qui existent à chaque étape des apprentissages¹.

Antérieurement, au cours des XIX^e et XX^e siècles, l'épistémologie qui transparait dans les programmes et les discours des acteurs politiques et scientifiques préoccupés par l'enseignement contraste avec l'épistémologie contemporaine. Les sciences y sont souvent présentées comme le fruit d'« hommes illustres » (pour reprendre l'expression de Jean-Baptiste Dumas [*in Fortoul*, 1854 : 412] ; citation tirée de la contribution de Pierre

¹ *Bulletin Officiel* (BO) Hors-série n° 5, 9 septembre 2004, p. 20.

Savaton) qui se sont distingués par leurs efforts et surtout la rigueur de leur esprit en quête de la vérité. La citation de Victor Duruy en 1864 permet d'exemplifier cette vision des sciences : « Par les sciences, [...] nous plions l'esprit à la discipline sévère des méthodes de raisonnement, et nous montrons par quelle voie austère et rude il faut aller chercher la vérité » (Duruy, cité par Belhoste éd., 1992 : 389 ; citation tirée de la contribution de Pierre Savaton). Les termes « esprit » et « vérité » sont récurrents dans les citations données par Pierre Savaton. Ils se traduisent par l'objectif d'apprentissage qui semble avoir prévalu dans les programmes et les discours du passé : former l'esprit des élèves avec pour modèle l'esprit des scientifiques, en présupposant que celui-ci est imprégné de valeurs morales et en particulier de la valeur associée à une certaine notion de vérité. Cette notion de vérité est érigée en idéal qu'il faut poursuivre et qui doit permettre de lutter contre « l'ignorance ou le fanatisme » (suivant les termes de Louis Mangin [1905 : 33] ; citation tirée de la contribution de Pierre Savaton). Tacitement, dans ces textes et discours, la vérité est réifiée et considérée comme une mesure accessible permettant d'évaluer les théories successives et d'identifier laquelle serait « juste » (qualificatif utilisé par Paul Tannery [1907] ; citation tirée de la contribution de Pierre Savaton). L'évolution des objectifs d'apprentissage associés à l'histoire des sciences vers ceux discutés plus haut (A et B) apparaît concomitante de celle du champ de l'épistémologie et d'une remise en question de cette conception de la vérité (notamment par l'argument de sous-détermination de la théorie par l'expérience²).

De façon plus ponctuelle, le développement de la pensée critique est évoqué par Clément Crastes comme un autre objectif d'apprentissage pouvant être associé à l'introduction de l'histoire des sciences en classe. Cet objectif se trouve aussi exprimé dans les programmes d'enseignement des sciences de 2019, cités par Pierre Savaton, dans lesquels il est question de « la formation de l'esprit critique »³. La manière dont cette pensée critique peut être développée grâce à l'histoire des sciences et la définition de ce qu'il faut entendre par « pensée critique » ne sont pas précisées dans les textes de ces deux auteurs. Une manière de comprendre

² Voir : Psillos, 1999.

³ BO spécial n° 1, 22 janvier 2019, Programmes des lycées.

cette évocation de la pensée critique consiste à relier cette notion à celle de représentations *critiques* des sciences. À cet égard, l'histoire des sciences offre des opportunités de mener des « réflexions critiques sur ses conditions et contraintes [des sciences] », comme le pointent Dietmar Höttecke et Cibelle Celestino Silva (2011). Selon cette perspective privilégiée par Michael R. Matthews (2012), l'objectif d'apprentissage serait de développer les représentations des sciences des élèves, non pas en leur faisant *apprendre* des points d'épistémologie, mais en les amenant à *questionner et discuter*, sur le plan épistémologique, différents aspects du fonctionnement des sciences.

En arrière-plan des objectifs d'apprentissage visés par les chercheurs qui ont contribué au présent ouvrage, nous pouvons nous questionner sur les enjeux éducatifs. Quels sont-ils ? Se référant plus généralement à l'enseignement scientifique, Laurence Maurines distingue deux enjeux éducatifs : préparer les élèves qui s'orienteraient « vers les métiers scientifiques » et faire acquérir à tous les élèves, en tant que futurs « citoyens », une « culture scientifique ». Elle précise que « cette culture est pensée comme devant reposer sur des connaissances, non seulement en sciences, mais aussi sur ce que sont les sciences/la science, ainsi que sur la capacité à les utiliser pour penser ou agir de manière responsable dans des contextes variés ». Les deux premiers éléments de la culture scientifique renvoient respectivement aux objectifs A et B. Autrement dit, l'acquisition d'une culture scientifique implique l'acquisition de connaissances scientifiques et de représentations riches des sciences.

Les résultats de cet examen des objectifs d'apprentissage et des enjeux éducatifs que les contributeurs de cet ouvrage associent à l'introduction de l'histoire des sciences en classe sont résumés dans la figure 1. Dans cette dernière, nous proposons d'inclure une flèche à deux têtes représentant un lien entre les deux objectifs A et B. En effet, certaines analyses des données de l'enquête PISA⁴ de 2015 ont mis en évidence des corrélations importantes entre les représentations des sciences des élèves et leur maîtrise des connaissances scientifiques (She, Lin & Huang, 2019). Ces corrélations peuvent possiblement s'expliquer par une relation

⁴ Programme international pour le suivi des acquis des élèves.

d'influence mutuelle. On peut penser qu'une meilleure compréhension du statut des connaissances scientifiques et de la manière dont elles sont construites permet une meilleure compréhension de leur signification et donc une meilleure appropriation de celles-ci. Inversement, on peut supposer qu'une meilleure maîtrise des connaissances scientifiques offre une meilleure base pour mener une réflexion sur leur statut et le processus de leur construction.

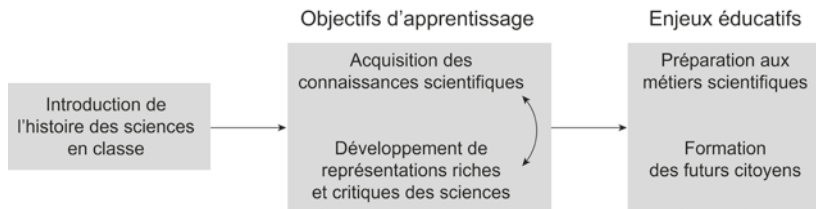


Figure 1 – Objectifs d'apprentissage et enjeux éducatifs pouvant être associés à l'introduction de l'histoire des sciences en classe

Source : Réalisation de l'auteur.

Comment introduire l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique ?

Les travaux publiés en histoire des sciences peuvent être à la fois très détaillés et pointus. Ils peuvent couvrir des temporalités très grandes et des champs disciplinaires variés. De plus, les réflexions qu'ils permettent de développer sur le plan épistémologique peuvent être particulièrement complexes. Cela pose donc la question de la manière dont l'histoire des sciences peut être introduite en classe et rendue accessible aux élèves. Quelle histoire des sciences ? Sous quelle forme ? Les réponses apportées par les auteurs des chapitres précédents sont diverses. Elles apparaissent en partie dépendantes des objectifs d'apprentissage visés.

Avec pour objectif de faire acquérir aux élèves des connaissances scientifiques, l'approche développée par Cécile de Hosson repose sur une « reconstruction didactique » de l'histoire des sciences. Cette reconstruction correspond à la combinaison d'éléments relevant de l'histoire

des sciences et d'éléments relevant de la didactique des sciences. Plus précisément, il s'agit de faire converger un « travail de sélection et d'organisation d'éléments historiques » avec une analyse épistémologique des savoirs à enseigner et un examen des difficultés des élèves. Le travail de reconstruction conduit à la constitution de ressources pédagogiques (par exemple, sur le mécanisme de la vision) qui puisent dans des sources primaires d'histoire des sciences et qui s'autorisent à réorganiser les contenus en fonction d'une visée didactique, celle de permettre aux élèves de suivre un cheminement cognitif fécond pour l'appropriation des connaissances scientifiques. La reconstruction didactique d'un épisode historique donné peut alors différer du récit de référence des chercheurs en histoire des sciences. Cécile de Hosson soutient que ce choix est légitime du point de vue didactique. En outre, elle fait remarquer que tout récit historique correspond à une reconstruction du passé et implique des choix en termes de sélection et d'organisation du matériau historique. Concernant le processus de sélection de ce dernier, son approche rejoint celle d'autres chercheurs en didactique des sciences qui estiment qu'il est justifié de négliger certains détails expérimentaux et mathématiques lorsqu'il s'agit d'introduire l'histoire des sciences dans la classe et de la rendre accessible aux élèves (De Berg, 1997).

Cette approche contraste avec celle privilégiée par Christian Bracco, qui, au lieu de mettre de côté des détails historiques, propose au contraire de réintégrer des éléments historiques oubliés par l'enseignement. Les éléments historiques en question sont d'ordre conceptuel. Ils correspondent à des « étapes intermédiaires » dans l'évolution des théories. Ces étapes se situent entre des périodes relativement stables, marquées par des théories constitutives de paradigmes au sens de Thomas Kuhn. Elles se voient en général « ignorées » dans l'enseignement, car perçues comme des « “solutions approchées”, éphémères et donc indignes d'être enseignées ». Il en va ainsi par exemple du modèle héliocentrique « transitoire » développé par Johannes Kepler basé sur l'« équant ». Dans le contexte de l'enseignement, Christian Bracco s'inscrit en faux, contre l'approche d'inspiration kuhnienne qui présente l'histoire des sciences en termes de « ruptures ». D'après lui, cette idée de rupture résulte de l'ignorance des étapes scientifiques intermédiaires, lesquelles impliquent

une forme de « continuisme ». Sur le plan conceptuel, ces étapes permettent de faire « dialoguer » des théories habituellement « présentées de manière cloisonnée », de jeter des « ponts » entre elles ou, autrement dit, de comprendre de quelle manière précisément une ancienne théorie a progressivement été révisée ou remplacée par une nouvelle. Dès lors, intégrer les étapes intermédiaires dans l'enseignement est un moyen de mieux donner à voir aux élèves ou aux étudiants l'évolution des théories. Pour Christian Bracco, ce qui est en jeu sur le plan des apprentissages, c'est le développement de représentations fines des sciences concernant leur caractère évolutif.

Guidées par des objectifs d'apprentissage différents, les deux approches présentées ci-dessus semblent impliquer des stratégies antagonistes. Dans le premier cas, l'objectif A (l'acquisition de connaissances scientifiques) conduit à introduire en classe une histoire des sciences épurée de détails inutiles pour la construction d'un parcours cognitif vers les connaissances scientifiques. Dans le second cas, l'objectif B (le développement des représentations des sciences) justifie au contraire l'introduction en classe de détails habituellement écartés pour la restitution très précise d'une continuité dans l'évolution des théories.

Motivée également par l'objectif B, Laurence Maurines présente toutefois une approche qui diffère des deux précédentes. Son hypothèse de départ est la suivante : « pour comprendre la façon dont les scientifiques génèrent des connaissances par leur activité, une pluralité de points de vue est nécessaire ». Cette idée de pluralité des points de vue implique le recours en classe à une multiplicité de sources ou, en d'autres termes, à une multiplicité d'informations historiques. Pour surmonter l'écueil d'une surcharge cognitive et d'une démobilitation des élèves, la stratégie proposée consiste à « répartir l'information historique sur l'ensemble des documents » et à ne transmettre ainsi à chaque élève qu'un point de vue ou un nombre limité de points de vue. L'ensemble des informations peut ainsi être traité de façon coopérative et donner lieu à mise en commun lors de laquelle les points de vue multiples sont discutés et des éléments d'épistémologie sont « institutionnalisés ». Cette approche est également adoptée par Clément Crastes qui s'y réfère en parlant d'« investigations documentaires à caractère historique ». Il est à noter

que Laurence Maurines, à la différence de Cécile de Hosson, privilégie l'usage de sources secondaires d'histoire des sciences, ce qui est présenté comme un moyen supplémentaire de rendre l'histoire des sciences accessible aux élèves.

Par ailleurs, Laurence Maurines souligne que son approche « relève d'un enseignement explicite de la *NoS* », au sens où le fonctionnement des sciences n'est pas simplement donné à voir aux élèves par l'étude de documents comportant des informations historiques. Selon cette approche, le fonctionnement des sciences doit être questionné et discuté, autrement dit traité de façon explicite. Cette approche explicite diffère d'une approche implicite selon laquelle il suffit de montrer le fonctionnement des sciences aux élèves ou de leur faire vivre des activités scientifiques pour qu'ils fassent évoluer leurs représentations des sciences. La supériorité de l'approche explicite sur l'approche implicite en termes d'efficacité a été mise en évidence par plusieurs études dans les années 2000 et 2010 (Khishfe, 2023). Ce résultat très important concernant le développement des représentations des sciences des élèves vaut pour les trois principales stratégies qui ont été développées et évaluées par la recherche : introduire l'histoire des sciences en classe, faire vivre aux élèves des démarches scientifiques et leur faire étudier des questions socio-scientifiques (Khishfe, 2023).

Concernant toujours l'objectif B, une question supplémentaire mérite d'être abordée : quels aspects épistémologiques du fonctionnement des sciences est-il pertinent d'aborder sur la base de l'histoire des sciences ? Les contributions de Clément Crastes et d'Antonietta Demuro mettent toutes deux en exergue un aspect épistémologique : le rapport entre théorie et expérience ou, plus précisément, le rôle que joue l'expérience dans la construction des théories et des modèles. Étudiant l'histoire des modèles de l'écoulement incompressible, Clément Crastes met en lumière les relations non univoques entre un modèle (en l'occurrence, un modèle décrivant la perte de charge dans un tuyau horizontal par une équation linéaire) et l'expérience : les prévisions du modèle peuvent être corroborées par une partie des observations et remises en cause par d'autres, ce qui pointe vers les limites du modèle. Explorant également l'histoire de la mécanique des fluides et en particulier les phénomènes de turbulence, Antonietta Demuro

décrit les liens complexes qu'entretiennent la théorie et l'expérience. Elle montre comment les données de l'expérience permettent de compléter les modèles par des constantes empiriques, ce qui renvoie à un rôle particulier de l'expérience qui a été souligné par Bas C. van Fraassen (2008), à savoir celui de « remplir un vide » dans une théorie afin de la rendre « empiriquement adéquate ». Elle montre également comment la complexité des phénomènes observés peut pousser les scientifiques à raffiner leur modèle sur le plan mathématique en intégrant des considérations statistiques. Ces éléments historiques et épistémologiques relativement techniques sont considérés par Antonietta Demuro comme pouvant alimenter la réflexion épistémologique des enseignants, plutôt que des étudiants.

Laurence Maurines, quant à elle, décrit comment l'exemple des modèles géocentriques et héliocentriques permet de questionner le statut des observations dans la construction des connaissances scientifiques. La séquence d'enseignement implémentée et étudiée montre que celle-ci peut conduire certains élèves à remettre en question la vision naïve de la primauté des observations sur la théorie, à prendre conscience de l'existence de valeurs et de la charge théorique des observations, ce qui correspond à un élément d'épistémologie mis en évidence par Norwood Russell Hanson ([1958] 2000).

Comme évoqué plus haut, Christian Bracco, pour sa part, centre son étude sur le caractère évolutif des théories. C'est un aspect des sciences que Norm G. Lederman et ses collègues (2002) estiment important à traiter en classe avec les élèves au regard du « mythe » largement partagé selon lequel les « lois scientifiques et d'autres idées [en sciences] sont absolues » (McComas, 1998). Faire prendre conscience aux élèves du caractère évolutif des sciences est un objectif qui a été explicitement introduit dans les programmes français, en particulier ceux de SVT de 2005, comme l'illustre la citation donnée plus haut issue du chapitre de Pierre Savaton. Cette citation parle de « tâtonnements » et de « remise en cause de théories incomplètes ou erronées ». On peut remarquer que ces notions de tâtonnement et de théorie erronée étaient déjà présentes dans les programmes et les discours antérieurs sur l'enseignement restitués par Pierre Savaton : par exemple, Léon Bourgeois parle en 1890 de « tâtonnements successifs » (Bourgeois, cité par Belhoste éd., 1992 :

525) et Paul Tannery évoque en 1907 les « erreurs » de l'esprit humain dans la recherche de la « vérité ». Ces textes anciens et récents mettent au jour une certaine représentation des sciences associée à l'idée du caractère évolutif des théories. Selon cette représentation, les théories qui se sont succédé dans l'histoire sont toutes erronées, mais constituent des étapes permettant aux scientifiques d'accéder à terme aux théories justes identifiables à la vérité. Il s'agit d'une conception finaliste de l'évolution des théories qui contraste avec l'idée défendue actuellement par nombre d'épistémologues selon laquelle toutes les théories acceptées aujourd'hui restent faillibles en principe, au sens où elles sont susceptibles d'être révisées dans le futur, voire remplacées par de nouvelles. Par conséquent, on pourrait distinguer trois représentations des sciences sur cette question : les théories sont absolues ; les théories évoluent vers la vérité ; les théories évoluent et restent toujours faillibles. Ces considérations invitent à la prudence concernant l'objectif d'apprentissage qui consiste à faire prendre conscience aux élèves du caractère évolutif des sciences. Suivant la critique de Matthews évoquée plus haut, on peut questionner la pertinence de vouloir faire *apprendre* aux élèves que les théories évoluent, dans la mesure où cette idée d'évolution peut être entendue de différentes manières. Si l'objectif est de conduire les élèves vers des représentations critiques des sciences, il semble plus fécond de présenter aux élèves des exemples historiques d'évolution de théories et de les inviter à discuter la question de ce que l'on peut en conclure sur le statut des théories passées, mais aussi des théories actuelles, tout en reconnaissant le caractère controversé d'une telle question. D'autres questions épistémologiques controversées sont susceptibles d'être discutées avec profit en classe, telles que la question du statut des modèles, qui oppose des points de vue réalistes et instrumentalistes, ou la question du type d'influence que le contexte socio-économique et culturel exerce sur la construction de la connaissance scientifique (Bächtold, Cross & Munier, 2021).

Enfin, les études de Clément Crastes, d'Antonietta Demuro et de Laurence Maurines suggèrent toutes trois que l'histoire des sciences offre l'opportunité d'explorer et de questionner les liens entre sciences et société. Considérant l'histoire de la mécanique des fluides, Clément Crastes illustre « l'interdépendance entre sciences et société », en soulignant qu'au

xviii^e siècle, l'étude des marées et des alizés était en partie motivée par des enjeux économiques liés au transport maritime. Se penchant sur l'histoire de la mécanique des fluides au xx^e siècle, Antonietta Demuro met en évidence l'intérêt des recherches sur les phénomènes de turbulence pour le développement de l'industrie aéronautique. Elle montre aussi comment cette industrie fournit des situations concrètes à étudier (des avions soumis à des turbulences), mais aussi des moyens expérimentaux pour tester des modèles et recueillir des données (en mettant par exemple des souffleries à disposition des chercheurs). Pour Laurence Maurines, le cas de l'histoire du géocentrisme et de l'héliocentrisme permet également de « rendre compte de [l']inscription [des sciences] dans une communauté et une société », ce qui renvoie à deux points qui méritent d'être distingués. Le terme « société » renvoie ici à la question des liens entre la sphère scientifique et la sphère sociétale, cette dernière étant porteuse de valeurs et de croyances (par exemple, des croyances métaphysiques ou religieuses) qui peuvent influencer les recherches scientifiques. Le terme « communauté » se réfère quant à lui à la sphère scientifique en tant que telle, laquelle implique un ensemble de chercheurs qui s'engagent collectivement dans des pratiques scientifiques, celles-ci pouvant être décrites comme des pratiques sociales (telles que l'argumentation, pour reprendre l'exemple donné par Laurence Maurines) caractérisées par certaines normes (Kuhn *et al.*, 2013 ; Nussbaum, 2021).

Conclusion

Cette mise en perspective des contributions de l'ouvrage réduit inévitablement leur richesse et laisse dans l'ombre de nombreuses questions qui mériteraient une discussion approfondie. Toutefois, elle a permis de distinguer deux principaux objectifs d'apprentissage associés à l'introduction de l'histoire des sciences en classe (l'acquisition des connaissances scientifiques et le développement de représentations riches et critiques des sciences), ainsi que des enjeux éducatifs qui se situent en arrière-plan de ces objectifs (la préparation aux métiers scientifiques et la formation des futurs citoyens). L'exploration de l'histoire de l'enseignement scientifique met en évidence que l'intégration de ces objectifs d'apprentissage dans les programmes est relativement récente et prend le relais d'une instrumentalisation de l'histoire des

sciences au service d'une transmission de valeurs morales réifiant la vérité. Cette mise en perspective a également montré que les objectifs d'apprentissage peuvent aboutir à des stratégies d'enseignement qui se révèlent, dans une certaine mesure, antagonistes : introduire l'histoire des sciences en l'épurant de certains détails pour favoriser l'acquisition par les élèves de connaissances scientifiques ou, au contraire, en l'enrichissant de certaines étapes pour développer leurs représentations des sciences. Enfin, cette mise en perspective a permis de soulever la question des aspects des sciences pouvant être étudiés à partir de l'histoire des sciences et de mettre en avant l'intérêt de traiter avec les élèves des questions épistémologiques controversées.

Références bibliographiques

- BÄCHTOLD Manuel, CROSS David & MUNIER Valérie, 2021. « How to Assess and Categorize Teachers' Views of Science? Two Methodological Issues », *Research in Science Education*, 51 (5), p. 1423-1435, <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09904-x>.
- BELHOSTE Bruno (éd.), 1992. *Les sciences dans l'enseignement secondaire français. Tome 1^{er} : 1789-1914. Textes officiels*, Paris, Institut national de recherche pédagogique/Éditions Economica.
- DE BERG Kevin C., 1997. « The Development of the Concept of Work: A Case Study Where History Can Inform Pedagogy », *Science & Education*, 6 (5), p. 511-527, <https://doi.org/10.1023/A:1008642713225>.
- DRIVER Rosalind, GUESNE Edith & TIBERGHEN Andrée (dir.), 1985. *Children's Ideas in Science*, Milton Keynes, Open University Press.
- FORTOUL Hippolyte, 1854. « Instruction générale sur l'exécution du plan d'études des lycées », *Bulletin administratif de l'instruction publique*, 5 (59), p. 339-461, education.persee.fr/doc/baip_1254-0714_1854_num_5_59_1141 (consulté le 28/02/2023).
- GAULD Colin, 1991. « History of Science, Individual Development and Science Teaching », *Research in Science Education*, 21 (1), p. 133-140, <https://doi.org/10.1007/BF02360466>.
- GUERRA-RAMOS Maria Teresa, 2012. « Teachers' Ideas About the Nature of Science: A Critical Analysis of Research Approaches and Their Contribution

- to Pedagogical Practice », *Science & Education*, 21 (5), p. 631-655, <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9395-7>.
- HANSON Norwood Russell, [1958] 2001. *Modèles de la découverte. Une enquête sur les fondements conceptuels de la science*, Chennevières-sur-Marne, Dianoïa.
- HÖTTECKE Dietmar & SILVA Cibelle Celestino, 2011. « Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles », *Science & Education*, 20 (3-4), p. 293-316, <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9285-4>.
- JIN Hui, MIKESKA Jamie N., HOKAYEM Hayat & MAVRONIKOLAS Elia, 2019. « Toward Coherence in Curriculum, Instruction, and Assessment: A Review of Learning Progression Literature », *Science Education*, 103 (5), p. 1206-1234, <https://doi.org/10.1002/sce.21525>.
- KHISHFE Rola, 2023. « Improving Students' Conceptions of Nature of Science: A review of the Literature », *Science & Education*, 32 (6), p. 1887-1931, <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00390-8>.
- KUHN Deanna, ZILLMER Nicole, CROWELL Amanda & ZAVALA Julia, 2013. « Developing Norms of Argumentation: Metacognitive, Epistemological, and Social Dimensions of Developing Argumentative Competence », *Cognition and Instruction*, 31 (4), p. 456-496, <https://doi.org/10.1080/07370008.2013.830618>.
- LEDERMAN Norm G., ABD-EL-KHALICK Fouad, BELL Randy L. & SCHWARTZ Renée 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), p. 497-521, <https://doi.org/10.1002/tea.10034>.
- MANGIN Louis, 1905. « L'enseignement des sciences naturelles dans le second cycle de l'enseignement secondaire », in F. Le Dantec, L. Mangin, F. Péchoutre, E. Caustier, P. Vidal de La Blache, L. Gallois & P. Dupuy, *L'enseignement des sciences naturelles et de la géographie. Conférences du Musée pédagogique*, Paris, Imprimerie nationale, p. 21-35.
- MATTHEWS Michael R., 2012. « Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS) », in M. Khine (ed.), *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies*, Dordrecht, Springer, p. 3-26.
- MCCOMAS William F., 1998. « The Principal Elements of the Nature of Science: Dispelling the Myths », in W. F. McComas (ed), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*, Dordrecht, Kluwer Academic, p. 41-52.

- NUSSBAUM E. Michael, 2021. « Critical Integrative Argumentation: Toward Complexity in Students' Thinking », *Educational Psychologist*, 56 (1), p. 1-17, <https://doi.org/10.1080/00461520.2020.1845173>.
- POINCARÉ Henri, [1908] 1920. *Science et méthode*, Paris, Flammarion.
- PSILLOS Stathis, 1999. *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*, London, Routledge.
- SHE Hsiao-Ching, LIN Huann-Shyang & HUANG Li-Yu, 2019. « Reflections on and Implications of the Programme for International Student Assessment 2015 (PISA 2015) Performance of Students in Taiwan: The Role of Epistemic Beliefs About Science in Scientific Literacy », *Journal of Research in Science Teaching*, 56 (10), p. 1309-1340, <https://doi.org/10.1002/tea.21553>.
- SOLER Léna, ZWART Sjoerd, LYNCH Michael & ISRAEL-JOST Vincent (eds), 2014. *Science After the Practice Turn in the Philosophy, History, and Social Studies of Science*, New York, Routledge.
- TANNERY Paul, 1907. « Programme d'un cours d'histoire des sciences », *La Revue du mois*, 3 (16), p. 385-391.
- VAN FRAASSEN Bas C., 2008. *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, Oxford, Clarendon Press.
- WATERS-ADAMS Stephen, 2006. « The Relationship Between Understanding of the Nature of Science and Practice: The Influence of Teachers' Beliefs About Education, Teaching and Learning », *International Journal of Science Education*, 28 (8), p. 919-944, <https://doi.org/10.1080/09500690500498351>.

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.