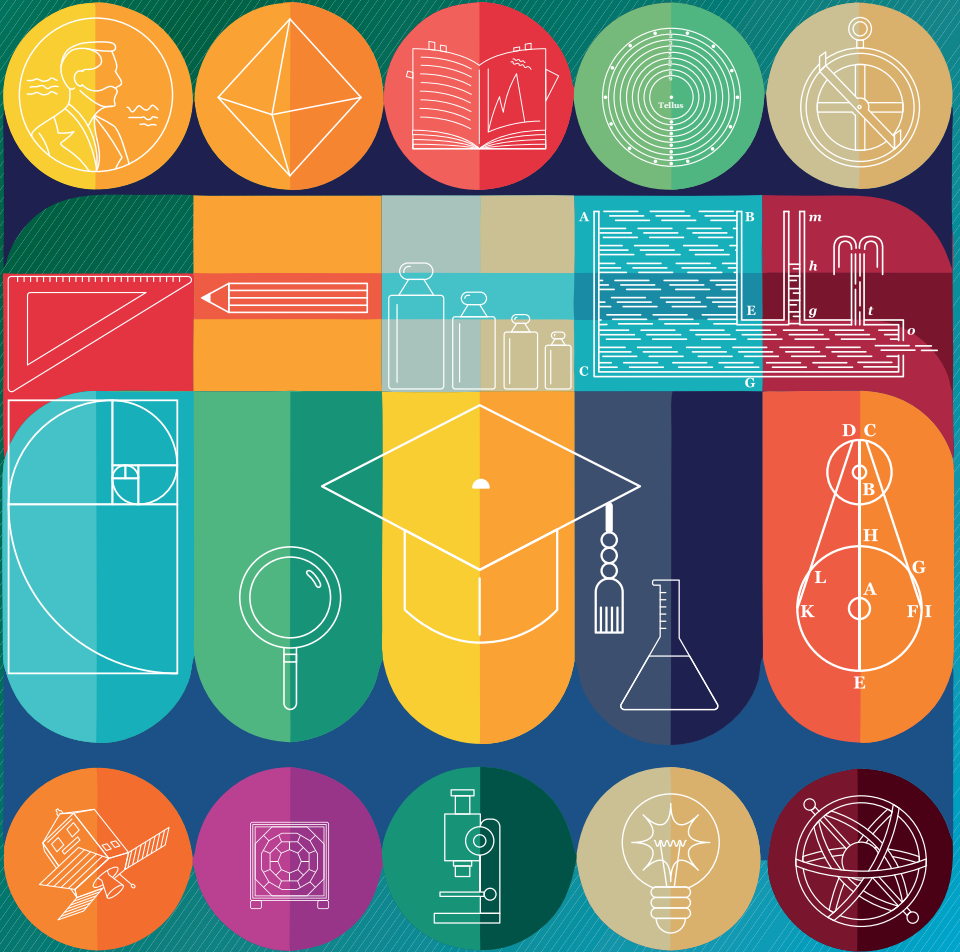




APPRENDRE ET PENSER LES SCIENCES DANS L'ENSEIGNEMENT ET LA FORMATION SCIENTIFIQUE

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

Recherche en didactique et histoire des sciences

Des origines aux développements actuels

Cécile DE HOSSON

Aux premières heures de son émergence, à la fin des années 1970, la recherche en didactique des sciences française a formé le projet de rapprocher certains raisonnements d'élèves et d'étudiant-es avec des théories ayant prévalu dans l'histoire des idées. Si ce projet n'a plus vraiment cours aujourd'hui, il n'en demeure pas moins que l'histoire des sciences occupe encore une large place dans les recherches contemporaines en éducation scientifique. Dans ce chapitre, nous commençons par présenter les raisons probables, les limites et le caractère potentiellement heuristique de la mise en évidence de ressemblances entre raisonnements individuels et savoirs historiques. Nous présentons ensuite les contours d'une approche théorique et méthodologique pour l'exploration du matériau historique dans une perspective didactique. Nous faisons émerger la légitimité d'une lecture didactique des sources historiques en définissant les termes d'un processus d'élaboration de séquences d'enseignement fondées sur l'histoire des sciences nommées ici « reconstructions didactiques ». Ces reconstructions peuvent être vues comme le produit d'un travail de sélection et d'organisation d'éléments historiques opéré par le chercheur ou la chercheuse en didactique et contraint, notamment, par ce qu'il ou elle sait des difficultés des étudiant-es et par les objectifs d'apprentissage qu'il ou elle se fixe. On illustrera le propos à travers trois exemples.

MOTS-CLÉS : histoire des sciences, didactique des sciences, reconstructions didactiques

C'est à la fin des années 1970 qu'apparaissent, en France, les premières recherches en didactique de la physique. Dans sa thèse, soutenue en 1977 (et publiée en 1979), la physicienne Laurence Viennot met au jour les raisonnements « spontanés » d'étudiant-es de physique en premier cycle

universitaire confronté-es à des situations relevant de la dynamique élémentaire. Elle montre qu'il existe une tendance prononcée de la pensée à associer force et mouvement, à imaginer que, si un objet se déplace dans une direction donnée, c'est qu'une force dirigée dans le sens du mouvement s'applique nécessairement sur l'objet¹. Elle montre également que la généralité des raisonnements étudiés s'étend bien au-delà du contexte universitaire (ou scolaire), en ce qu'elle englobe également les difficultés rencontrées par nos ancêtres. En droite ligne de ce résultat, plusieurs travaux de recherche formeront le projet de rapprocher certains raisonnements d'élèves et d'étudiant-es avec des théories ayant prévalu dans l'histoire des idées. On peut citer, à titre d'exemple, les travaux de Laurence Maurines (1986, 2001) sur les ondes mécaniques et lumineuses ou ceux d'Abdelmajid Benseghir (1989) en électrocinétique. Pourquoi la recherche en didactique de la physique (et avec elle, celle de la biologie), dans ses premières heures, s'est-elle mise en quête de confronter les raisonnements des élèves et/ou des étudiant-es avec ceux de savants anciens ? Quels intérêts y a-t-elle trouvés ? Ces questions, loin d'être nouvelles, irriguent la réflexion de la communauté scientifique (celle des chercheurs ou chercheuses en didactique, mais aussi des historien-nes et des philosophes des sciences) depuis la deuxième moitié des années 1980 et nous invitons le lecteur curieux à revenir, par exemple, aux articles publiés dans les numéros thématiques des revues francophones *Aster. Recherches en didactique des sciences expérimentales* (1987) et *Recherches en didactique des sciences et des technologies* (Hosson & Schneeberger dir., 2011), qui tour à tour discutent et illustrent la pertinence de tels rapprochements tout autant que leur genèse². C'est donc sur ces travaux, mais

¹ Il est en effet assez contre-intuitif de penser que, lorsqu'un objet est animé d'un mouvement rectiligne et uniforme, alors il n'est soumis à aucune force extérieure (ou encore, ce qui revient au même, que l'ensemble des forces extérieures exercées sur l'objet se compensent). Il est sans doute plus contre-intuitif encore d'admettre que, dans le cas de mouvements rectilignes décélérés, la résultante des forces extérieures exercées sur l'objet en mouvement est de sens opposé au mouvement.

² Précisons que rapprocher raisonnements des anciens et ceux des élèves contemporain-es est une manière particulière de concevoir l'utilisation de l'histoire des sciences à des fins didactiques, mais elle n'est évidemment pas la seule.

aussi sur ceux que nous conduisons depuis 2001 (date à laquelle débute notre thèse), que se fonde le propos que nous entreprenons de développer dans ce chapitre. Nous exposerons dans un premier temps les raisons probables à l'origine des quêtes de similitudes de raisonnements entre savants du passé et étudiant-es/élèves d'aujourd'hui, tout en en discutant la pertinence. Nous poserons dans un second temps quelques jalons théoriques pour penser l'exégèse historique de manière didactique.

Recherche en didactique et histoire des sciences : des similitudes en question

Il n'y a pas grand risque à affirmer que l'émergence de la recherche en didactique de la physique doit beaucoup à la psychologie génétique, en particulier aux travaux de Jean Piaget et de ses collaborateurs. L'idée selon laquelle l'individu construit ses connaissances avec et contre celles qu'il possède déjà, importée (notamment) de l'école piagétienne, constitue le socle fondateur de l'entreprise didactique et ce n'est peut-être pas tout à fait un hasard si la première thèse en didactique de la physique (Viennot, 1979) s'inscrit dans le champ de la mécanique. Plusieurs recherches en psychologie du développement avaient ouvert la voie à l'exploration des comportements d'enfants et d'adolescent-es confronté-es à des situations relevant de la physique du mouvement. On pense aux travaux de Piaget (1950), mais également à ceux de Lucie Leboutet qui plaçait dans sa thèse (1969) les concepts de la mécanique élémentaire au cœur de son enquête psychologique.

Dans un article de 1985, Édith Saltiel et Viennot étudient l'intérêt de la comparaison des théories de l'*impetus* du VI^e au XVII^e siècle avec les idées d'étudiant-es de lycée et d'université face à des questions de cinématique et de dynamique³. Elles montrent que lorsque l'on

³ Le concept d'*impetus* émerge de la volonté des savants prégaliléens de trouver une cause au mouvement des corps. Selon Jean Buridan, lorsqu'une chose est mise en mouvement, une qualité de mouvement est imprimée (*imprimi*) dans le mobile par le moteur. Cette qualité est permanente dans l'objet et y demeure tant qu'elle n'est pas corrompue : « Il me semble qu'il faudrait dire que le moteur, en déplaçant un corps en mouvement, imprime (*imprimi*) en lui une certaine impulsion (*impetus*) ou une certaine force motrice (*vis motiva*) du corps en mouvement, [laquelle impulsion agit]

demande à un-e étudiant-e de commenter le lancer d'un objet, il fournit fréquemment une interprétation où la notion d'élan stocké dans l'objet joue à peu près le même rôle que l'*impetus* : le mouvement implique une cause et lorsque c'est nécessaire, cette cause peut être recherchée à l'intérieur de l'objet en mouvement. Piaget et son collaborateur Rolando Garcia ne montrent pas autre chose lorsqu'ils écrivent :

En un cas particulier, qui est celui de l'évolution de la physique entre celle d'Aristote (y compris) et celle des dernières périodes prénewtoniennes, il nous a été possible d'établir une correspondance, et même étroite, entre les quatre phases historiques (les deux moteurs aristotéliens, le recours au seul moteur externe, la découverte de l'*impetus* puis celle de l'accélération) et les quatre étapes de la psychogenèse. On observe en particulier une construction et une généralisation frappantes vers sept-huit ans de l'idée « d'élan » en analogie surprenante avec les conceptions de Buridan. En un tel cas le parallélisme entre l'évolution des notions au cours de l'histoire et au sein du développement psychogénétique porte sur le contenu même des notions successives, et cela est compréhensible puisqu'il s'agit de concepts en quelque sorte préscientifiques. (Piaget & Garcia, 1983 : 39)

Tout en reconnaissant l'existence de traits de ressemblances entre les théories de la mécanique prénewtonienne et les idées des étudiant-es, Saltiel et Viennot (1985) pointent qu'il s'agit davantage de traits de surface que d'analogies strictes. Elles remarquent en particulier qu'influencé par les théories aristotéliennes, Tycho Brahe distingue deux types de mouvements, l'un naturel et l'autre violent, et refuse de combiner deux *impetus*. Ce qui pouvait représenter un obstacle

dans la direction vers laquelle le moteur déplaçait le corps en mouvement, soit vers le haut ou vers le bas, soit latéralement, soit circulairement. Et dans la mesure où le moteur déplace ce corps en mouvement plus rapidement, dans la même mesure il lui imprime une impulsion plus forte. C'est par cette impulsion que la pierre est déplacée après que le lanceur a cessé de bouger. Mais cet élan est continuellement diminué (*remittitur*) par la résistance de l'air et par la pesanteur de la pierre, qui l'incline dans une direction contraire à celle dans laquelle l'élan était naturellement prédisposé à la déplacer » (Buridan, cité par Clagett transl., 1974 – notre traduction).

au XVII^e siècle n'en est plus un pour les étudiant-es d'aujourd'hui, qui font coexister sans état d'âme différentes forces à l'intérieur d'un même objet en mouvement. La distinction aristotélicienne des mouvements n'a plus vraiment de sens pour la pensée actuelle. Les autrices développent ensuite un autre exemple qui montre sans équivoque les limites des parallélismes historico-psychogénétiques. C'est un fait, les étudiant-es et les savants du XVII^e siècle reconnaissent de façon similaire qu'un objet lancé en l'air reçoit, de la part du lanceur, une « force », un *impetus*, qu'il conserve pendant le temps où il demeure en mouvement. Reconnaître qu'il existe une transmission de l'*impetus* permet aux savants prénewtoniens de prévoir qu'un objet lâché d'un support mobile conserve le mouvement du support. Pour Giordano Bruno, pour Galilée, il ne fait aucun doute qu'une pierre lâchée du haut du mât d'un navire en mouvement uniforme tombera au pied de celui-ci. En revanche, la majorité des étudiant-es déclare qu'un objet lancé verticalement par un personnage immobile sur un tapis roulant, tombe derrière le lanceur. Cette fois, et contrairement à la démarche historique qui demeure cohérente dans son utilisation de l'*impetus*, les étudiant-es privilégient un raisonnement dans lequel prévaut la disparition du lien physique entre le mobile et son support, plutôt qu'un raisonnement en terme d'*impetus*. Dans ce cas, le « capital de force » qui aurait dû se manifester pour l'objet entraîné dans les mains du lanceur semble disparaître dès que l'objet est lâché⁴.

Toutes ressemblances entre des idées historiques et des idées d'étudiant-es contemporain-es sont-elles à placer au rang des coïncidences ? Peut-être pas... En 1938 paraît *La formation de l'esprit*

⁴ Piaget et Garcia prendront eux-mêmes leurs distances avec la thèse du parallélisme : « Il n'est, cela va de soi, pas le moins du monde question d'invoquer ici un parallélisme onto-phylogénétique au sens de Haeckel et cela pour trois raisons, toutes trois évidentes : a) on ne connaît pas d'exemple de transmission héréditaire des idées ; b) il n'y a pas de filiation héréditaire entre Aristote ou Buridan, par exemple, et les petits Genevois et Polonais qui nous ont servi de sujets ; c) mais surtout, l'enfant est antérieur à tous les adultes de l'histoire, puisqu'ils ont tous commencé par être des enfants » (Piaget et Garcia, 1983 : 80-81). Pour une critique plus poussée de la pertinence des rapprochements entre histoire des sciences et psychogenèse, nous renvoyons le lecteur à l'article de Daniel Raichvarg (1987).

scientifique, ouvrage dans lequel le philosophe Gaston Bachelard présente son concept « d'obstacle épistémologique » qui peut être étudié dans le développement historique de la pensée scientifique et dans la pratique de l'éducation (Bachelard, 1938). Entre le désir de connaître et les concepts propres à la science se dresse le mur de « l'opinion », des « connaissances mal faites » portées par des raisonnements qui entravent la formation de l'esprit scientifique. L'expérience première, la pensée animiste, les raisonnements substantialistes sont autant d'obstacles à franchir pour qui (savant ou élève) souhaite accéder à la rationalité scientifique. Le concept d'obstacle épistémologique acquiert sa robustesse par son caractère universel, par le fait qu'il est indissociable de la construction des connaissances scientifiques aux niveaux individuels et historiques. Même en adoptant un point de vue moins radical – nous rejoignons Viennot lorsqu'elle souligne que, si beaucoup d'idées communes sont des obstacles potentiels, « il faut aussi envisager que certaines puissent constituer un appui dans l'accès à la connaissance » (Viennot, 1996 : 23) – et en faisant preuve de prudence, on peut toutefois avancer que certaines tendances de la pensée dite « commune » viennent compliquer la construction des connaissances scientifiques : substantialiser la chaleur, le courant électrique, les images optiques conduit souvent à interpréter de manière erronée les phénomènes impliquant ces concepts. Certes, il n'est nullement nécessaire de se plonger dans l'histoire pour dégager ce qui, chez les élèves, les étudiant·es, risque d'entraver le développement de la pensée scientifique (d'ailleurs, la plupart des travaux de recherche sur les conceptions des élèves et des étudiant·es se sont développés indépendamment de toute préoccupation historique ; la mise au jour de ressemblances, lorsqu'elle existe, intervient le plus souvent en deuxième intention). Mais savoir qu'il existe des modes de pensée universels et cohérents susceptibles de bloquer ou, *a minima*, de parasiter la construction des connaissances scientifiques permet de considérer les erreurs des élèves, des étudiant·es autrement que comme le résultat d'un manque de travail ou d'un enseignement défaillant. On peut également admettre, comme le font Saltiel et Viennot (1985), que le temps d'installation d'un concept, d'une loi dans le *corpus* des savoirs

scientifiques est un bon indicateur des difficultés que risque de rencontrer l'individu au cours de sa formation. S'il a fallu vingt siècles pour que la lumière soit reconnue, dans la communauté savante, comme le *stimulus* de la vue, on peut légitimement questionner l'efficacité d'un enseignement qui, pour ce savoir, ne prendrait que quelques heures, voire, quelques minutes. La remarque vaut pour le principe d'inertie, le concept d'énergie et bien d'autres. Enfin, identifier les éléments qui, à l'échelle historique, ont contribué à l'évolution des explications peut contribuer, sous conditions, à l'édification de parcours d'apprentissage. C'est, en partie, l'objet de la suite de ce chapitre.

L'histoire des sciences, un modèle d'exposition didactique ?

En 1866 paraît le *Generelle Morphologie der Organismen*, ouvrage dans lequel Ernst Haeckel développe la théorie de la recapitulation, aussi appelée « loi biogénétique fondamentale », selon laquelle « l'ontogénie recapitule la phylogénie » ou, énoncée autrement, chaque organisme se développe en passant par les étapes des organismes ancestraux. Le développement ontogénétique humain (soit l'embryogenèse humaine) et le développement phylogénétique des espèces animales suivraient, par conséquent, une progression analogue. Cette théorie qui, est-il besoin de le préciser, n'a plus cours aujourd'hui, fera toutefois autorité dans le monde savant de la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle. Par exemple, pour démontrer la parenté de l'homme avec les organismes qui l'ont précédé dans l'ordre de la vie terrestre, l'astronome Camille Flammarion recourt à l'embryologie qui, selon lui, montre que l'homme commence son existence par un œuf et par des phases correspondant aux formes animales d'où sont issus ses ancêtres :

L'embryologie constate que, maintenant encore, tout être humain passe, dans le sein de sa mère, par les phases animales antérieures et, qu'avant d'être humain, chacun de nous a été œuf, reptile, quadrupède. (Flammarion, 1886 : 765 ; voir Figure 1)

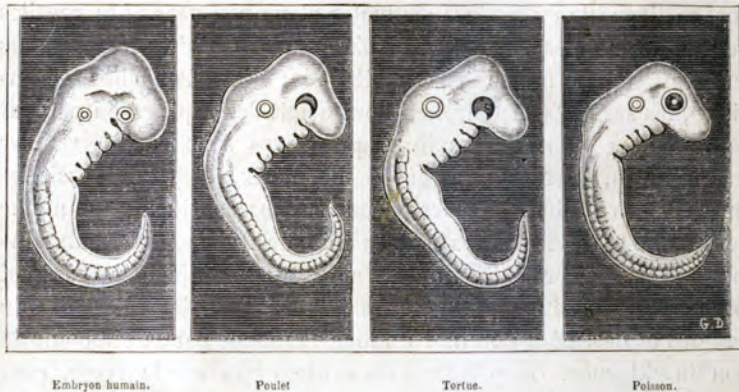


Fig. 10. — ... Chacun de nous a été, dans le sein de sa mère, mollusque, poisson, reptile, quadrupède. (Embryons comparés).

Figure 1 - « ... Chacun de nous a été, dans le sein de sa mère, mollusque, poisson, reptile, quadrupède. »

Source : gallica.bnf / BnF. Illustration extraite de Flammarion, 1886 : 24

L'embryologie ne sera pas la seule à entrer sous l'administration de la loi de la récapitulation. Pour Haeckel, outre l'évolution biologique, celle de l'esprit de l'enfant résumerait l'histoire du développement de l'esprit humain :

C'est tout à fait de la même manière que l'admirable activité de l'homme est sortie graduellement, à travers des milliers d'années, de la grossière intelligence des vertébrés inférieurs, et le développement psychique de chaque enfant n'est qu'une brève répétition de cette évolution phylogénétique. (Haeckel, cité par Canguilhem, 1968 : 44 – c'est nous qui soulignons)

Il n'est pas inintéressant de remarquer ici qu'une idée relativement proche s'était fait jour un siècle plus tôt sous la plume du philosophe Nicolas de Condorcet. Dans son *Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain*, Condorcet établit une correspondance entre le développement de l'espèce humaine et celui de l'individu :

Si l'on suit le développement de l'espèce humaine de générations en générations, il présente alors le tableau des progrès de l'esprit humain. Ce progrès est soumis aux mêmes lois générales qui s'observent dans le développement individuel de nos facultés, puisqu'il est le résultat de ce développement, considéré en même temps dans un grand nombre d'individus en société. (Condorcet, [1795] 1988 : 80)

Très concerné par la question éducative, Condorcet prend la présidence du Comité d'instruction publique créé en 1792 par l'Assemblée nationale législative française et rédige son projet de décret sur l'organisation générale de l'instruction publique qui sera présenté à l'Assemblée nationale les 20 et 21 avril 1792. On y lit notamment :

Nous avons donc imité dans nos distributions la marche que l'esprit humain a suivie dans ses recherches [...]. Le plan que nous présentons à l'Assemblée a été combiné d'après l'examen de l'état actuel des Lumières en France et en Europe ; d'après ce que les observations de plusieurs siècles ont pu nous apprendre sur la marche de l'esprit humain dans les sciences et dans les arts⁵.

La proximité intellectuelle entre l'orientation du décret de 1792 et la ligne défendue dans *L'Esquisse* ne fait guère de doute : si le développement individuel de nos facultés suit celui de l'espèce humaine, il peut sembler cohérent de projeter l'organisation de l'instruction (scientifique, notamment) sur la marche historique ; de caler la progression curriculaire sur l'histoire des progrès de l'esprit humain. Près de deux siècles plus tard, le physicien Paul Langevin, dont on connaît l'engagement pour la recherche pédagogique et pour l'éducation scientifique, écrira :

Ce développement progressif de l'œuvre scientifique en ses trois étapes [théologique, métaphysique et positiviste – NDLR], il paraît indispensable de le respecter, de le reproduire dans l'initiation donnée à l'école en l'adaptant à chaque instant au développement intellectuel des élèves qui se poursuit, **conformément à la grande loi biologique**, suivant un rythme parallèle à celui de l'évolution de l'espèce [...]. En respectant cet ordre,

⁵ Nicolas de Condorcet, « Rapport et projet de décret relatifs à l'organisation générale de l'instruction publique », Présentation à l'Assemblée législative, 20 et 21 avril 1792, <https://www.assemblee-nationale.fr/histoire/7ed.asp> (consulté le 10/07/2023).

en éclairant le pédagogique par l'historique on résoudra pour le mieux le problème de l'initiation scientifique. (Langevin, 1964 : 215 – c'est nous qui soulignons)

On aurait tort de croire que l'idée selon laquelle la chronologie historique peut influencer l'élaboration des contenus propres à l'instruction a complètement disparu. Une immersion au sein d'un groupe de physicien·nes en charge de la construction d'un enseignement de mécanique élémentaire pour le premier cycle universitaire témoigne de l'attachement de la communauté enseignante à un certain ordre historique : Galilée doit être enseigné avant Isaac Newton, Newton avant Albert Einstein et il ne saurait en être autrement⁶. On notera au passage qu'une telle vision n'autorise qu'un projet réductionniste pour l'histoire des sciences, un projet bien éloigné de ce qui fonde l'entreprise historique contemporaine. Ainsi, se dessinent les traits d'un récit épuré qui organise l'histoire des vainqueurs, une chronologie des progrès, une histoire sans aspérité, sans errance, sans contradiction, sans controverse, une histoire asociale. En résumé, une histoire qui ne rend pas compte « des processus qui sous-tendent le passage d'une connaissance à l'autre dans son dynamisme mais des caractéristiques statiques qui séparent et distinguent les connaissances les unes des autres » (Raichvarg, 1987 : 24).

Dans les lignes qui précèdent, nous avons pointé les risques que les tentatives de rapprochement entre psychogenèse et histoire des sciences faisaient courir à l'enquête historique. Réductionnisme, simplifications, juxtapositions progressistes, tels seraient les mécanismes à l'œuvre dans l'effort de recherche de traits communs entre développement individuel de la pensée et genèse historique. Sans aller jusqu'à renier la légitimité de leur démarche, Piaget et Garcia l'admettent, leur lecture de l'histoire des sciences n'est pas celle des historien·nes :

Nous avouons avoir été conduits à réévaluer ces faits à la lumière d'une problématique surgie d'abord dans le terrain de la psychogenèse, et de là avoir procédé à une relecture de l'histoire des sciences dans une

⁶ Pourtant, on pourrait très bien enseigner la théorie de la relativité restreinte en premier et montrer que la cinématique de Galilée est un cas particulier d'une loi plus générale, dans la mesure où les étudiant·es de premier cycle ont déjà été acculturé·es à la physique du XVII^e siècle au lycée.

perspective qui n'est pas celle de la plupart de ses spécialistes. (Piaget et Garcia, 1983 : 45)

Quelle est donc cette perspective ? L'histoire reconstruite par le ou la psychologue, le chercheur ou la chercheuse en didactique, en définitive par le non « spécialiste » ne peut-elle être que falsifiée, illégitime par effet d'imposture ? Disons-le d'emblée, notre réponse à cette question est non. Pourquoi ? C'est ce que nous allons voir dans un instant. Aux prémices de notre argumentation, nous sommes tentée de revenir à ces lignes du philosophe américain Thomas S. Kuhn, publiées en 1977 dans *La tension essentielle*, à propos de l'idée de causalité dans le développement de la physique :

Quelles sont les raisons pour lesquelles un historien des sciences peut être appelé à écrire pour des psychologues de l'enfant sur un sujet tel que la causalité en physique ? L'une des premières réponses est bien évidente à tous ceux qui sont familiers des recherches de Jean Piaget. Ses remarquables travaux sur les notions d'espace, de vitesse, de temps ou sur le monde lui-même, chez l'enfant, ont constamment révélé de frappants parallèles avec les conceptions soutenues par des hommes de science d'époques précédentes. Si de telles relations existent pour la notion de causalité, leur mise en évidence doit intéresser tant le psychologue que l'historien [...]. **Une partie de ce que je sais sur la manière de poser des questions à des savants disparus, je l'ai appris en examinant les interrogatoires de Piaget avec des enfants vivants.** (Kuhn, [1977] 1990 : 56 – c'est nous qui soulignons)

Lorsque nous avons enquêté sur les raisonnements des jeunes élèves à propos du rôle de la lumière dans la vision (Hosson, 2004), nous avons montré que l'entrée de la lumière dans l'œil n'est reconnue qu'au prix de la gêne qu'elle provoque, c'est-à-dire, dans des situations d'éblouissement. Or, dans de telles situations, la vision est difficile, voire impossible. Ce constat pose deux difficultés. D'abord, il conduit les élèves à affirmer que la vision des objets n'est possible que si la lumière n'entre pas dans l'œil (ce qui est précisément l'inverse de ce que dit la science : pour voir un objet, il est nécessaire que de la lumière provenant de cet objet pénètre dans l'œil) ; ensuite, il induit l'idée que les objets ordinairement éclairés ne renvoient pas la lumière qu'ils reçoivent. En d'autres termes,

la vision d'un objet n'est possible si celui-ci est éclairé et si la lumière qui l'éclaire est suffisamment faible pour y « rester ». Nous savions dès lors que les élèves (du moins ceux que nous avons interrogés) raisonnaient de manière dichotomique : soit la lumière entre dans les yeux et je ne vois rien, soit elle ne rentre pas et je vois, et il existe un seuil en deçà duquel la lumière qui atteint un objet y reste et c'est alors que la vision de l'objet devient possible⁷. Là où l'élève raisonne en termes de « tout ou rien » par discontinuité, le ou la physicien·ne adopte une approche quantitative et continue, un « plus ou moins » qui lui permet de penser la vision comme le résultat de l'entrée dans l'œil d'une quantité suffisante de lumière : ni trop, ni trop peu. Forte de ces résultats, nous avons entrepris de rechercher ce qui, dans l'histoire des théories de la vision, avait contribué à faire de la lumière le *stimulus* de la vue. Nous formulons le pari qu'un examen de l'édification conceptuelle de la théorie physique de la vision au plan historique pourrait nous fournir des pistes susceptibles de façonner un parcours d'apprentissage. Il s'agissait donc de trouver, dans l'histoire, des leviers transférables au cheminement cognitif des élèves.

Sur le plan méthodologique, nous avons débuté notre exploration historique par l'étude d'historiographies réputées sur la lumière et la vision (Lindberg, 1976 ; Rashed, 1997 ; Ronchi, 1956 ; Simon, 2003). Cela nous a conduite à nous intéresser de plus près aux écrits du savant irakien Ibn al-Haytham (965-1040) qui, selon les historien·nes, offraient une perspective nouvelle pour l'explication de la vision (perspective qui, dans ses grands traits, est celle admise aujourd'hui). Nous avons mis de côté les récits historiographiques (qui n'apportaient pas de réponse claire à la question « Comment la lumière est-elle devenue le *stimulus* de la vue ? ») pour nous concentrer sur le *Kitab al-Manazir* d'Ibn al-Haytham dans sa traduction anglaise par Abdelhamid I. Sabra (1989). L'exégèse de cette source primaire s'est vue façonnée par la connaissance que

⁷ Nous savions également que la plupart des élèves de primaire et de collège expliquent que, si l'on voit, c'est parce que l'œil envoie « un regard », une « vision », « la vue », en d'autres termes une entité de nature assez mal définie qui, sortant de l'œil, va à la rencontre des objets (les élèves savent que, sans lumière, on ne voit rien, mais son rôle se limite à éclairer les objets et c'est tout). Notons que, si une petite partie des élèves affirme au contraire que quelque chose, partant des objets éclairés, pénètre dans l'œil de l'observateur, ce quelque chose n'est jamais de la lumière (Hosson & Kaminski, 2002).

nous avons des difficultés des élèves (on se souvient de la posture de Kuhn mentionnée plus haut) et nous a permis de construire une ressource pédagogique : le *Dialogue sur les manières dont se fait la vision*, discussion fictive de type galiléenne dans laquelle trois personnages cheminent vers une explication physique du mécanisme de la vision. Le *Dialogue* s'ouvre sur une exposition de deux théories antagonistes (explicitement situées dans le contexte de la Grèce antique) : la vision résulte d'un processus impliquant soit un sens œil > objet, soit un sens objet > œil⁸. Il se poursuit par une construction progressive du concept de lumière comme *stimulus* de la vue et suit l'organisation décrite dans la partie droite de la Figure 2.

La mise en perspective des étapes conceptuelles du *Dialogue sur les manières dont se fait la vision* avec les étapes d'une reconstruction historique des travaux d'Ibn al-Haytham appelle plusieurs commentaires. On remarquera d'abord que le phénomène de l'éblouissement joue un rôle pivot dans l'élaboration conceptuelle proposée par Ibn al-Haytham. À l'inverse, ce même phénomène constitue, pour les élèves, une difficulté majeure pour comprendre que la vision d'un objet résulte de l'entrée dans l'œil d'un observateur d'une partie de la lumière renvoyée par l'objet. Un même fait d'observation (l'éblouissement) conduit d'un côté à conclure que la lumière est *stimulus* de la vue et, de l'autre, à imaginer au contraire que lorsque la lumière entre dans l'œil, la vision est impossible. Cette différence fondamentale anéantit d'emblée tout projet de construction d'un cheminement conceptuel pour les élèves qui suivrait une voie strictement parallèle au cheminement historique (ici, celui du *Kitab al-Manazir*). De fait, le *Dialogue*, né d'un double travail d'enquête didactique et historique, procède d'une organisation spécifique à la classe et diffère du référent historique, dans la mesure où nous avons ajouté des éléments dont la présence nous semblait nécessaire à un cheminement intellectuel vertueux (unité de fonctionnement des cinq sens, analogie entre la vision et l'ouïe)⁹. Reste que l'analogie entre les effets de la lumière et la douleur, marchepied vers

⁸ À ce stade, nous avons fait l'hypothèse que les élèves allaient reconnaître leurs propres idées dans celles des Anciens et adhérer ainsi au parcours cognitif proposé par le *Dialogue* en prenant parti pour l'une ou l'autre théorie.

⁹ De fait, l'utilisation de ce dialogue s'est avérée fructueuse en termes d'apprentissage (et de motivation), aussi bien dans le contexte d'entretiens d'apprentissage avec des

un traitement quantitatif de la lumière, demeure l'élément pivot des deux cheminements et, ce qui est intéressant, c'est que cet élément apparaissait jusqu'alors minoré, voire ignoré, par les historien·nes¹⁰. On voit là non seulement la pertinence de la mobilisation de résultats didactiques pour l'analyse historique, mais également la nécessité, pour le chercheur ou la chercheuse en didactique, d'un retour vers les sources historiques primaires.

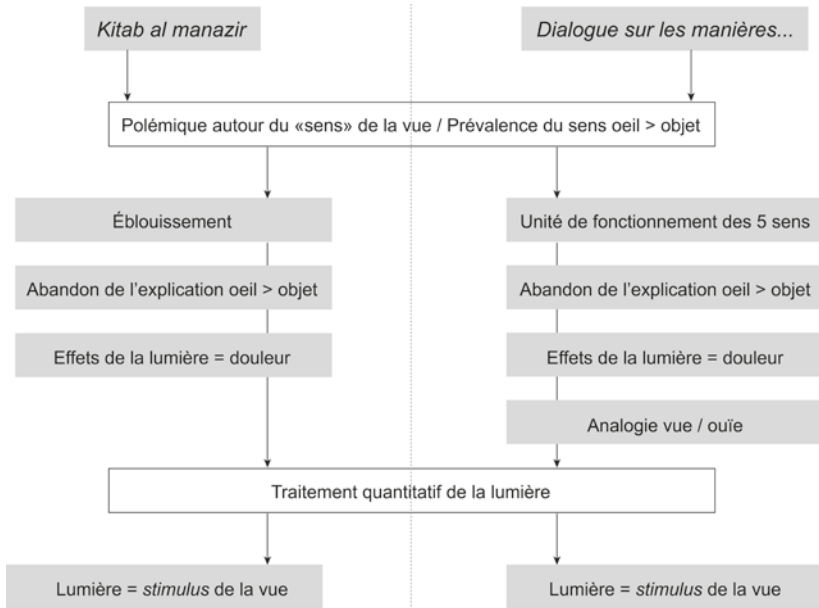


Figure 2 – Organigramme mettant en perspective les étapes conceptuelles du *Dialogue sur les manières* dont se fait la vision avec les étapes d'une reconstruction historique des travaux d'Ibn al-Haytham pilotée par les résultats d'une enquête didactique portant sur les idées des élèves à propos de la vision.

Source : Réalisation de l'autrice.

binômes d'élèves que dans celui de situations réelles de classe de collège et de primaire (Hosson & Kaminski, 2007).

¹⁰ Les situations d'éblouissement et les prémices d'un traitement quantitatif de la lumière chez Ibn al-Haytham sont toutefois bien mises en évidence dans le travail historiographique de Vasco Ronchi (1956).

Interrogée comme élément de la transposition didactique (Verret, 1975), la légitimité des écarts entre le cheminement d'Ibn al-Haytham et l'organisation du *Dialogue sur les manières dont se fait la vision* apparaît largement justifiée. En effet, puisque l'étude et la prise en compte des contraintes propres au monde scolaire fondent la spécificité du projet de construction didactique et, par là même, celle de l'organisation des savoirs scolaires, il n'est pas étonnant que celle-ci se présente sous une forme quelque peu différente de l'organisation historique de référence. Dans le cas du *Dialogue*, les processus ayant conduit à l'élaboration des savoirs ne sont pas gommés, mais réexaminés et complétés à la lumière des difficultés des élèves. Par ailleurs, le *Dialogue* n'aurait certainement pas vu le jour sans l'adossement à une enquête historique rigoureuse et immergée dans les textes sources.

Cette modalité de travail apparaît très différente de celle qui semble en général gouverner l'élaboration de séquences d'enseignement produites au sein de la sphère scolaire et qui entendent immerger les élèves dans le contexte historique d'une découverte. L'analyse des différentes formes scolaires prises par l'activité de mesure du périmètre terrestre par la méthode dite « d'Ératosthène » vient illustrer cette affirmation. Une analyse des huit manuels d'enseignement scientifique pour la classe de première (programmes français de 2019) révèle d'importantes contre-vérités historiques, ce qui, dans un contexte où l'on attend de l'histoire des sciences qu'elle contribue, par exemple, à l'enrichissement culturel des élèves, pose question (Décamp & Hosson, 2020)¹¹. En outre, les apprentissages sous-tendus par les tâches proposées par ces manuels sont à la fois peu nombreux et peu adaptés aux difficultés associées à la compréhension des principes géométriques qui fondent la mesure.

Le chercheur ou la chercheuse en didactique dispose des moyens pour « rectifier le tir », pour redonner à l'histoire des sciences sa juste place dans l'enseignement. Comment ? En assumant d'abord le fait qu'une enquête historique ne peut être ni impartiale ni exhaustive. Même l'historien.ne

¹¹ À titre d'exemple, la plupart des manuels mettent en perspective la procédure de mesure d'Ératosthène avec celle supposément mise en œuvre par Anaxagore (sous l'autorité d'un modèle de Terre plate et de Soleil « proche ») dont il n'existe pourtant à ce jour aucune trace historique.

reconstruit le passé, opère des choix dans le matériau exploité dans le cadre de sa recherche :

Les reconstructions historiques [sont] toujours incertaines [...]. De plus, elles sont toujours partielles. L'historien ne raconte pas tout ce qu'il sait ou pourrait savoir mais ce qui est important [...]. L'histoire de l'historien est donc l'effet d'un choix. (Koyré, 1966 : 391)

Par conséquent, les éléments historiques retenus par le ou la didacticien-ne, ainsi que la façon dont celui-ci ou celle-ci choisit de les organiser peuvent conduire à des reconstructions différentes de celles proposées par les historien-nes des sciences. Les motivations étant, de part et d'autre, spécifiques, elles induisent des lectures particulières dont la légitimité est garantie, non par une éventuelle proximité avec un parcours idéal (qui reste de toute façon inaccessible), mais par la « fécondité » (Berthelot, 2002 : 234) du programme qui les sous-tend :

Il n'y a donc pas de lecture plus vraie ou plus fausse [de l'histoire des sciences – NDLR] ; pas davantage de lecture neutre ou de lecture n'impliquant pas de décision préalable, dans la définition de l'aire des événements retenus (notamment dans l'approche événementielle) ou dans celle des matériaux, des entités, des mécanismes reconnus comme pertinents. À chaque fois, un principe de sélection s'applique, relevant, en dernière analyse, du programme adopté. Chaque récit, chaque reconstruction, chaque modélisation est donc une stylisation, ordonnée à un principe de lecture déterminé. Ce principe de lecture est l'effet d'un programme, c'est-à-dire d'une manière générique d'expliquer et de donner sens à un objet. (Berthelot 2002 : 242)

Dans cette perspective, nous admettons qu'il existe un « programme » didactique de reconstruction historique. Selon ce dernier, l'exploration historique conduite par le ou didacticien-ne est soumise à un « principe de lecture déterminé » par un projet didactique spécifique : faciliter la construction de connaissances conceptuelles, donner une vision plus juste de la nature de la science, par exemple. Il convient ensuite d'assumer le fait qu'il existe une distance entre ces reconstructions historiques et les constructions didactiques de dispositifs d'enseignement fondés sur ces reconstructions, et qui vont former, *in fine*, le matériau pédagogique à proposer aux élèves, aux étudiant-es. Il convient enfin de placer (autant que faire se peut) les textes sources au cœur de l'enquête

historique. Non pas que le travail de l'historien-ne ne soit pas utile – il peut servir de garde-fou à d'éventuels abus d'interprétation –, mais, dans la mesure où le résultat de ce travail débouche inmanquablement sur des choix, certains développements qui auraient pu intéresser le ou la didacticien-ne peuvent être passés sous silence. C'est le cas, nous l'avons vu, pour l'analogie entre les effets de la lumière et la douleur, peu (pas) mentionnée par les historien-nes contemporain-es de la lumière. Un regard sur les recherches en didactique se donnant pour objet l'élaboration de séquences d'enseignement à partir de l'histoire des sciences montre que ces conditions, même si elles ne sont pas toujours explicites, se situent bien à l'arrière-plan de la réflexion didactique.

Dans un article de 2002, Hélène Merle présente l'élaboration et la réalisation d'une séquence d'enseignement se donnant pour objectif la construction, par des élèves de primaire, de la notion géométrique d'horizon. Cette séquence prend appui sur un argument développé par Aristote pour prouver la sphéricité de la Terre : la modification de l'aspect du ciel nocturne pour des observateurs se dirigeant vers le sud¹². Elle débute par une question : « Pourquoi des observateurs situés au nord et au sud d'un même méridien ne voient pas les mêmes étoiles dans le ciel ? ». Les élèves répondent par des schémas qui laissent apparaître une ligne méridienne tantôt droite, tantôt courbe, tandis que le champ de vision de chacun des observateurs se voit figuré, dans la plupart des cas, par un cône relativement aigu. Si cette façon de géométriser l'espace visible d'un observateur rend parfaitement compte des observations décrites par Aristote, elle ne permet pas de discriminer l'idée d'une Terre plate de celle d'une Terre ronde. Cette difficulté est travaillée *via* l'élaboration d'un nouvel outil de géométrisation du champ de vision – une ligne tangente au cercle terrestre –, dont l'émergence est appuyée par une modélisation du phénomène à l'aide de maquettes en carton représentant la surface

¹² « Ainsi les astres qui sont au-dessus de notre tête subissent un changement considérable, et ils ne nous semblent plus les mêmes, selon qu'on va au midi, ou au nord. Il y a certains astres qu'on voit en Égypte et à Chypre, et qu'on ne voit plus dans les contrées septentrionales. Certains astres, au contraire, qu'on voit constamment dans les contrées du nord, se couchent quand on les considère dans les contrées que je viens de nommer. Ceci prouve non seulement que la forme de la terre est sphérique, mais encore que sa sphère n'est pas grande ; car autrement on ne verrait pas de tels changements pour un déplacement si petit. » (Aristote, 1866 : Livre II, chap. 14, 298b)

terrestre (ou plus exactement, une portion de ligne méridienne). Ce travail nous inspire plusieurs remarques. D'abord, on constate qu'il existe une dissymétrie (non explicitement caractérisée par l'autrice) entre les hypothèses et les enjeux historiques d'une part, didactiques d'autre part : d'un point de vue historique, la notion d'horizon sert de modèle explicatif des changements d'aspects du ciel nocturne pour asseoir l'idée d'une Terre sphérique ; d'un point de vue didactique, les changements d'aspect du ciel comme manifestation de la sphéricité de la Terre permettent la construction de la notion d'horizon¹³. Pour autant, c'est bien la description empirique des changements dans le ciel nocturne proposée par Aristote, analysée à l'aune des difficultés des élèves à géométriser le champ de vision, qui inspire le problème posé aux élèves. La formulation de ce problème est l'effet d'une lecture didactique du texte d'Aristote ; sa résolution à l'aide des maquettes en carton peut être considérée comme une extrapolation expérimentale à petite échelle du modèle géométrique aristotélicien. La séquence d'enseignement élaborée par Merle émerge d'un travail de réorganisation d'éléments historiques (observation des différences de configuration du ciel nocturne entre deux points d'un même méridien, démonstration de la sphéricité de la Terre à partir de la notion d'horizon), auxquels s'adjoignent des éléments anhistoriques (utilisation de maquettes en carton). Le tout forme une reconstruction didactique féconde. Cette séquence replace les élèves dans un contexte historique (celui de la pensée d'Aristote) pour les aider à dépasser la simple affirmation « la Terre est ronde » et « parvenir à une construction argumentée et étayée de la sphéricité de la Terre » (Merle, 2002 : 133).

Cet exemple et celui développé plus haut à partir de l'histoire du mécanisme optique de la vision renvoient à des reconstructions conçues dans une large mesure dans le but de contribuer à l'élaboration de connaissances conceptuelles (ligne d'horizon, rôle de la lumière dans la vision). Mais le travail de reconstruction opéré par le chercheur ou la chercheuse en didactique peut également viser la sensibilisation des élèves, des étudiant-es à ce qui fonde l'entreprise humaine et socio-culturelle de la science, à la nature des sciences :

¹³ On précise ici que les élèves engagé-es dans la démarche proposée par Merle savent que la Terre est ronde.

In a review of the attempts to incorporate HOS in science teaching, it is argued that if we wish to use the history of science to influence students' understanding of science, we must treat [historical] material in ways which illuminate particular characteristics of science. (Russel, 1981 : 56)

Là encore, un principe de sélection s'impose, porté – comme c'est le cas dans les recherches de Maurines et Daniel Beaufils en optique (2011) – par la volonté de « faire acquérir aux élèves une image de la nature des sciences comme un processus et une entreprise humaine » (Maurines & Beaufils, 2011) en leur présentant « une image plus réaliste/authentique de l'activité scientifique » pour lutter, par exemple, contre une tendance à l'hagiographie encore trop prononcée dans les manuels scolaires. Reste à trouver dans l'histoire des sciences des épisodes, des faits répondant aux critères qui permettent d'accéder à une vue plus juste de la dynamique de production des savoirs scientifiques et, de là, de reconstruire une histoire où les connaissances scientifiques seraient considérées comme le résultat d'activités réalisées par des hommes et des femmes dans le contexte socio-culturel d'une époque donnée. Il est probable que de telles reconstructions présenteraient des caractéristiques différentes de reconstructions strictement conceptuelles.

Conclusion

En ouverture de ce chapitre, nous sommes revenue sur les premiers travaux de recherche en didactique de la physique qui, en France à la fin des années 1970, ont formé le projet de rapprocher certaines conceptions d'élèves et d'étudiant-es avec des théories ayant prévalu dans l'histoire des idées. Nous avons fait émerger certaines filiations entre ces recherches pionnières et des positionnements théoriques issus de la psychologie du développement et de la philosophie des idées. Cela nous a conduite à discuter de l'influence des théories de la récapitulation qui, à la fin du XIX^e siècle, instituent le développement de l'esprit humain (psychogenèse) en tant que répétition de la construction historique des savoirs (ontogenèse). Nous en avons pointé les limites et les incohérences, tout en soulignant le caractère potentiellement heuristique de la mise en évidence de ressemblances entre conceptions des élèves et savoirs historiques. Nous avons ensuite présenté les contours d'une approche théorique et méthodologique pour

l'élaboration de reconstructions didactiques en tant que produits légitimes d'un travail de sélection et d'organisation d'éléments historiques opéré par le chercheur ou la chercheuse en didactique et contraint, notamment, par ce qu'il ou elle sait des difficultés des élèves, des étudiant-es et par les objectifs d'apprentissage qu'il ou elle se fixe (objectifs en termes d'apprentissage conceptuel et/ou relatifs à la Nature de la Science).

Il est une question que nous n'avons pas abordée dans notre développement et qui concerne la visibilité du matériau historique. Quelle place une reconstruction didactique inspirée de l'histoire des sciences doit-elle accorder aux textes historiques de première main ? À cette question, nous n'avons pas de réponse définitive. Rappelons, par exemple, que le *Dialogue sur les manières dont se fait la vision* n'est pas un document historique, que les élèves de Merle ne sont pas confrontés au texte d'Aristote, pas plus que ne le sont ceux de Maurines et Beaufile aux écrits des physiciens de la lumière du xvii^e siècle. Et pour autant, l'histoire est bien là, inspirante, autant pour poser des problèmes que pour fournir des clés pour les résoudre, ou encore pour donner une image plus authentique du fonctionnement de la science.

Mais il faut bien admettre que la question de l'accès aux textes historiques se pose un peu différemment selon que l'on s'adresse à des enseignant-es ou à des élèves. Notre expérience de formatrice d'enseignant-es (en formation initiale et continue) nous montre que, si les enseignant-es sont plutôt enclin-es à se plonger dans la lecture de sources primaires, ils ou elles sont en revanche beaucoup plus circonspect-es lorsqu'il s'agit de projeter l'utilisation de ces mêmes sources dans la classe. Cette attitude vis-à-vis du texte historique conduit bien souvent à des coupes franches, voire à des reformulations complètes du propos développé. Ne le nions pas, comprendre le propos d'un savant grec du iv^e siècle avant J.-C. ou d'un physicien anglais du xvii^e siècle peut en effet s'avérer particulièrement coûteux. Charge alors au ou à la didacticien-ne de proposer, par exemple, des *corpus* de textes historiques commentés, et d'accompagner les enseignant-es dans la création de matériaux pédagogiques à la fois rigoureux et accessibles. Derrière ce projet se cache la question de la formation. Mais ça, c'est une autre histoire...

Références bibliographiques

- ARISTOTE, 1866. *Traité du ciel*, Paris, A. Durand/Ladrange.
- Aster. *Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 1987. « Didactique et histoire des sciences » [Dossier], 5, p. 1-174, https://www.persee.fr/issue/aster_0297-9373_1987_num_5_1 (consulté le 23/02/2023).
- BACHELARD Gaston, 1938. *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*, Paris, J. Vrin.
- BENSEGHIR Abdelmadjid, 1989. *Transition électrostatique-électrocinétique. Point de vue historique et analyse des difficultés des élèves*, thèse de doctorat, sous la dir. de L. Viennot, Université Paris 7.
- BERTHELOT Jean-Michel, 2002. « Pour un programme sociologique non réductionniste en étude des sciences », *Revue européenne des sciences sociales*, 40 (124), p. 233-251, <https://doi.org/10.4000/ress.590>.
- CANGUILHEM Georges, 1968. *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, J. Vrin.
- CLAGETT Marshall (transl.), 1974. « Jean Buridan. The Impetus Theory of Projectile Motion », in E. Grant (ed.), *A Source Book in Medieval Science*, Cambridge, Harvard University Press, p. 275-280.
- CONDORCET Nicolas de, [1795] 1988. *Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain*, Paris, GF Flammarion.
- DÉCAMP Nicolas & HOSSON Cécile de, 2020. « Ératosthène et Anaxagore dans l'enseignement scientifique. Embûches et opportunités ». *Images des Mathématiques*, 21 mai, https://images.math.cnrs.fr/Eratosthene-et-Anaxagore-dans-l-enseignement-scientifique.html?lang=fr&id_forum=16436 (consulté le 10/07/2023).
- HOSSON Cécile de, 2004. *Contribution à l'analyse des interactions entre histoire et didactique des sciences Élaboration d'un support d'enseignement du mécanisme optique de la vision pour l'école primaire et le collège et premiers éléments d'évaluation*, thèse de doctorat, sous la dir. de W. Kaminski & J. Gayon, Université Paris 7.
- HOSSON Cécile de & KAMINSKI Wanda, 2002. « Les yeux des enfants sont-ils des "porte-lumière" ? », *Le Bup. Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 96 (840), p. 143-160.

- 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>.
- FLAMMARION Camille, 1886. *Le monde avant la création de l'homme. Origines de la terre, origines de la vie, origines de l'humanité. Ouvrage illustré de 400 gravures sur bois, 8 cartes géologiques et 5 aquarelles*, Paris, C. Marpon et E. Flammarion.
- HAECKEL ERNST, 1866. *Generelle Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte Descendenz-Theorie*, Berlin, G. Reimer.
- HOSSON Cécile de & SCHNEEBERGER Patricia (dir.), 2011. « Didactique des sciences et histoire des sciences » [Dossier], *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 3, p. 9-152, <https://doi.org/10.4000/rdst.358>.
- KOYRÉ Alexandre, 1966. *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Presses universitaires de France.
- KUHN Thomas S., [1977] 1990. *La tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences*, Paris, Gallimard.
- LANDEVIN Paul, 1964. *La pensée et l'action*, Paris, Éditions sociales.
- LEBOUTET Lucie, 1969. *De la notion au concept chez l'enfant et l'adolescent. Étude de psychologie génétique sur la physique élémentaire*, thèse de doctorat, Paris, Université de la Sorbonne.
- LINDBERG David C., 1976. *Theories of Vision from al-Kindi to Kepler*, Chicago/London, University of Chicago Press.
- MAURINES Laurence, 1986. *Premières notions sur la propagation de signaux mécaniques. Étude des difficultés des étudiants*, thèse de doctorat, sous la dir. de É. Saltiel, Université Paris 7.
- MAURINES Laurence, 2001. *Le raisonnement géométrique en termes d'objet dans la physique des ondes*, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Paris 11.
- 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>.

- MERLE Hélène, 2002. « Histoire des sciences et sphéricité de la Terre : compte-rendu d'innovation », *Didaskalia*, 20, p. 115-135, <https://doi.org/10.4267/2042/23917>.
- PIAGET Jean, 1950. *Introduction à l'épistémologie génétique. Tome II : La pensée physique*, Paris, Presses universitaires de France.
- PIAGET Jean & GARCIA Rolando, 1983. *Psychogénèse et histoire des sciences*, Paris, Flammarion.
- RAICHVARG Daniel, 1987. « La didactique a-t-elle raison de s'intéresser à l'histoire des sciences ? », *Aster. Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 5, p. 3-34, <https://doi.org/10.4267/2042/9228>.
- RASHED Roshdi, 1997. « Al-Kindī et la tradition euclidienne en optique », in R. Rashed (ed.), *Ceuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindī, Volume I^{er} : L'optique et la catoptrique*, Leiden/New York/Köln, E. J. Brill, p. 67-96.
- RONCHI Vasco, 1956. *Histoire de la lumière*, Paris, Librairie Armand Colin.
- RUSSELL Thomas L., 1981. « What History of Science, How Much, and Why? », *Science Education*, 65 (1), p. 51-64, <https://doi.org/10.1002/sci.3730650107>.
- SABRA Abdelhamid I. (transl.), 1989. *The Optics of Ibn al-Haytham. Books I, II, II: On Direct Vision*, London, The Warburg Institute/University of London.
- SALTIEL Édith. & VIENNOT Laurence, 1985. « What Do We Learn from Similarities between Historical Ideas and the Spontaneous Reasoning of Students? », in P. Lijnse (ed.), *The Many Faces of Teaching and Learning Mechanics in Secondary and Early tertiary education, Proceedings of the Conference on Physics Education, Utrecht – The Netherlands, 20-25 August 1984*, Utrecht, Groupe international de recherche sur l'enseignement de la physique (GIREP)/W.C.C.
- SIMON Gérard, 2003. *Archéologie de la vision. L'optique, le corps, la peinture*, Paris, Éditions du Seuil.
- VERRET Michel, 1975. *Le temps des études*, Lille, Atelier national de reproduction des thèses.
- VIENNOT Laurence, 1979. *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, Paris, Hermann.
- VIENNOT Laurence, 1996. *Raisonnement en physique. La part du sens commun*, Paris/Bruxelles, De Boeck Université.

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.