

HISTOIRE DES SCIENCES ET RÉFLEXION ÉPISTÉMOLOGIQUE DES ÉLÈVES

Pierre Fillon

L'histoire des sciences et des techniques est l'Arlésienne de l'enseignement scientifique : toujours annoncée, rarement mise en pratique dans les classes. Cet article se propose de montrer comment son introduction, même modeste, permettrait de :

- *modifier les pratiques des professeurs en les incitant à la pluridisciplinarité et en les encourageant à prendre en considération les représentations de leurs élèves ;*
- *faire réfléchir les élèves d'une part sur leurs conceptions sur la science et la technique dans la société et d'autre part sur la possibilité de reconsidérer leurs propres modèles spontanés qui font obstacle à la construction du savoir scientifique à la lumière de modèles scientifiques historiques.*

une incitation
souvent répétée
mais peu de
réalisations
pratiques

Depuis la fin du 19^e siècle, les différents ministres de l'Éducation nationale et l'Académie des sciences sollicitent les professeurs de sciences en leur demandant d'intégrer dans leur enseignement des éléments d'histoire des sciences. Malgré une incitation institutionnelle (il y a eu une épreuve d'histoire des sciences dans le concours d'agrégation de physique jusque dans les années 1920) ce vœu est resté vain aussi bien dans les programmes officiels (où l'idée est seulement abordée mais aucune instruction donnée) que dans les pratiques d'enseignement scientifique.

D'une part les quelques enseignants ayant tenté d'intégrer un peu d'HST ⁽¹⁾ dans leurs cours se sont bornés la plupart du temps :

quelques
tentatives...

- à faire une étude chronologique des découvertes scientifiques et techniques ;
- à citer quelques anecdotes qui sont le plus souvent caricaturales ;
- à présenter succinctement la biographie de quelques «savants».

D'autre part, lorsqu'on aborde la possibilité d'utiliser autrement l'HST en sciences, les professeurs, malgré un intérêt manifeste, s'interrogent immédiatement sur les aspects et problèmes suivants :

- le parallélisme entre les difficultés des élèves à construire certains concepts et celles rencontrées par les physiciens de l'époque à les élaborer ;

(1) Dans la suite de l'article, l'histoire des sciences et des techniques sera notée HST.

des interrogations
et des craintes de
la part des
professeurs

- la crainte que les élèves ne se souviennent de concepts périmés plutôt que de ceux actuellement admis par la communauté scientifique ;
- l'idée que l'introduction de l'HST ne pourrait se faire qu'en construisant les concepts avec les élèves dans l'ordre historique de leur découverte ;
- la perte de temps par rapport à un enseignement axiomatique qui serait plus efficace. En effet, le modèle dominant de l'enseignement scientifique est de type axiomatique ; une présentation rigoureuse et claire, y compris appuyée sur un dispositif expérimental de démonstration, serait le moyen le plus adéquat pour transmettre la connaissance scientifique. Nous n'entrerons pas ici dans un tel débat, mais nous soulignerons simplement que les résultats même de l'enseignement scientifique, qui reste actuellement très fortement axiomatique pour diverses raisons, montrent que ce type d'enseignement ne convient qu'à une minorité d'élèves et éloigne de la science un nombre trop important de jeunes.

des interrogations
internes à la
discipline

Enfin, on peut remarquer que **les interrogations des professeurs envers un tel enseignement sont essentiellement internes à la discipline**. Rares sont ceux qui soulignent l'intérêt d'une possibilité d'approches complémentaires et convergentes avec des disciplines telles que les sciences humaines, la philosophie et la biologie. Les relations complexes entre la science, la technique et la société ne sont pas envisagées.

Ces interrogations et craintes sont sûrement à l'origine de la réticence des enseignants à utiliser l'HST (on peut aussi ajouter le manque de formation dans ce domaine des professeurs de sciences).

Aussi est-il apparu nécessaire qu'un groupe de recherche pluridisciplinaire de l'INRP organise une réflexion sur les finalités et les conditions d'utilisation et de mise en œuvre d'un enseignement d'HST au niveau des collèges et lycées. Cette recherche-action avait aussi pour mission de proposer, après expérimentation dans les classes, des séquences d'enseignement intégrant l'HST ⁽²⁾. Ce travail de réflexion et de proposition pluridisciplinaire a été complété par une étude interne à la discipline sur la prise en compte des représentations des élèves et de l'histoire des sciences pour aider l'élève à construire un concept scientifique ⁽³⁾.

Ces deux réflexions (d'une part pluridisciplinaire et d'autre part disciplinaire) ont permis de dégager deux axes possibles

(2) Le rapport relatif à cette recherche doit être publié dans la collection *Rapports de Recherche* à l'INRP au cours de l'année 1991.

(3) FILLON P., *La prise en compte des représentations et de l'histoire des sciences peut-elle aider l'élève à construire un concept scientifique ?* Mémoire de DEA de didactique des sciences physiques, Université Paris 7, 1988.

deux modes
d'utilisation de
l'histoire des
sciences...

l'une à tendance
culturelle et
pluridisciplinaire...

l'autre à
orientation
didactique et
disciplinaire

d'utilisation de l'HST dans l'enseignement. Ces deux orientations ont la même finalité : aider l'élève à réfléchir sur ses propres représentations en ce qui concerne les sciences.

La première utilisation possible de l'HST a une **tendance plus culturelle** et vise la **modification ou la création de certaines représentations sociales sur la science**. Elle a été plus particulièrement analysée par le groupe de recherche INRP. Dans ce cas, l'approche est externe à la discipline et nécessite la **pluridisciplinarité**.

La deuxième utilisation est en général interne à la discipline et donc plus souvent **disciplinaire**. Elle vise à aider l'élève à mieux construire un concept scientifique particulier mais aussi à **considérer autrement ses propres représentations** relatives à celui-ci, en les confrontant d'une part à l'expérience et d'autre part aux modèles construits par les premiers physiciens ayant abordé ce domaine. Les hypothèses méthodologiques proposées dans cette deuxième orientation ont été développées et analysées partiellement dans le projet de recherche correspondant au mémoire de DEA cité précédemment. Elles demandent encore des validations dans un cadre plus général lors de recherches à venir.

Cet article se propose d'exposer les deux orientations qu'il nous semble possible de donner à un enseignement d'HST dans le secondaire. En ce qui concerne l'orientation culturelle, seules les représentations des élèves sur les aspects sociaux-économiques des relations Science-Technique-Société ⁽⁴⁾ seront présentées (avant et après un enseignement d'histoire des sciences). Pour l'orientation didactique, une séquence pédagogique sera présentée après avoir examiné les similitudes et différences entre les représentations des élèves et un modèle historique des scientifiques. Pour chacun des axes retenus, les difficultés rencontrées et les limites d'utilisation mises en évidence seront dégagées.

1. MODIFIER LES REPRÉSENTATIONS SOCIALES SUR LA SCIENCE CHEZ LES ÉLÈVES

1.1. Les objectifs culturels de l'enseignement de l'HST

Les apports majeurs de l'enseignement de l'HST dans les collèges et les lycées se retrouvent aussi bien dans les approches disciplinaires que pluridisciplinaires.

L'enseignement de l'HST **incite à la pratique de la pluridisciplinarité** entre des disciplines qui traditionnellement s'ignorent. L'ouverture indispensable vers les autres disciplines s'avère profitable aux élèves (décloisonnement des disciplines

(4) Dans la suite de l'article Science-Technique-Société sera noté STS.

ouverture vers les autres disciplines par la pluridisciplinarité

avec un meilleur transfert des connaissances et méthodes acquises dans une discipline vers une autre) mais aussi aux professeurs qui comprennent mieux les avantages du travail en équipe et de la concertation qui permet la mise en commun des idées.

Il permet de créer ou modifier des représentations sociales sur la science chez les élèves.

De nombreux rapports incitent à la **construction d'une culture scientifique chez les élèves** ; citons par exemple le rapport Bourdieu-Gros ⁽⁵⁾ :

construire une culture scientifique chez les élèves par une modification de leurs représentations sur les relations S.T.S.

«L'enseignement des mathématiques ou de la physique tout autant que celui de la philosophie ou de l'histoire, peut et doit permettre de préparer à l'histoire des idées, des sciences ou des techniques (cela, évidemment, à condition que les enseignants soient formés en conséquence). [...] un enseignement capable de professer à la fois la science et l'histoire des sciences ou l'épistémologie...»

Outre une étude des relations STS, cette formation passe aussi par une interrogation sur ce qu'est la science et sur ses présupposés éthiques. Ces deux niveaux d'étude interfèrent fréquemment et obligent dans un cas comme dans l'autre à prendre en compte et souvent à remettre en cause les représentations spontanées des élèves.

• Les relations science - technique - société

s'opposer à la représentation de la technique en aval de la science

Un enseignement de l'HST s'oppose à l'**image d'une technique qui découle de la science** pour montrer des moments de relative indépendance de l'une par rapport à l'autre, et l'absence de relation mécanique entre ces domaines. En effet, la relation entre la science et la technique est souvent pensée comme linéaire, la science préparant la mise au point d'objets techniques qui ne seraient que le résultat d'une sorte de bricolage ingénieux des savoirs. M. Daumas est de ce point de vue catégorique : *«Il est de tradition de subordonner le développement des techniques au progrès scientifique. Rien n'est moins exact. Il faut abandonner le schéma élémentaire suivant lequel la connaissance scientifique des problèmes naturels a conduit, d'époque en époque, l'évolution des techniques. Il n'y a pas un siècle seulement que les sciences exercent une influence profonde sur les techniques, alors que probablement depuis les origines de la pensée les techniques ont suggéré aux savants les sujets de leur recherche.»* ⁽⁶⁾ Contrairement à la science dont le développement procède, pour beaucoup d'auteurs, de ruptures, de rectifications d'erreurs, de réorganisations fondamentales de la pensée, **la technique se développerait plutôt de façon continue et cumulative**. La liaison entre science et technique est alors située comme un fait récent et de plus en plus subordonné aux

la technique se construit de façon cumulative et continue

(5) BOURDIEU P., GROS F., *Propositions pour l'enseignement de l'avenir*, Paris, Ministère de l'Éducation Nationale, 1985.

(6) DAUMAS M., *Histoire générale des techniques*. Tome 1, Paris, PUF, 1979.

la science
comme la
technique répond
à une demande
sociale

finalités économiques et sociales que se donnent les sociétés. L'économie contribue à arrimer la science à l'univers de la technique devenu, depuis un peu plus d'un siècle, un univers technologique. Il devient donc impossible de penser séparément sauf pour la clarté de tel ou tel moment de la réflexion, les trois termes de Science, Technique et Société.

le chercheur ne
travaille pas
isolément

Il montre le **poids de la demande sociale** aussi bien pour la science que pour la technique, mettant ainsi en cause dans un grand nombre de situations l'idée d'une science désintéressée ; les pouvoirs aussi bien politiques, qu'économiques ou culturels interviennent constamment pour orienter ou modifier les axes de recherche.

rompt avec une
hiérarchie entre la
science et la
technique

Il situe le chercheur, le scientifique dans un environnement social ; celui-ci n'est pas un solitaire dont l'esprit n'est préoccupé que de faire progresser la science ou d'améliorer les conditions de vie mais il est soumis à des influences sociales, économiques et politiques.

Il **rompt avec l'idée d'une hiérarchie** entre la science, activité gratuite tournée vers la seule connaissance, et la technique qui serait asservie aux intérêts économiques et financiers.

• L'épistémologie des sciences

faire réfléchir
l'élève sur la
méthode
scientifique

L'enseignement de l'HST : permet de faire travailler les élèves sur la **méthode scientifique** et de les placer en situation de conflit vis-à-vis de représentations spontanées telles que la théorie suit l'expérience ou que la théorie ou le modèle sont vrais. La mise en situation historique montre que les théories scientifiques sont des produits historiques, qu'elles sont remises en cause, réélaborées, soumises perpétuellement à la critique de la pensée mais aussi de l'expérience. Ce type d'étude, menée avec des élèves, est un moyen pour essayer de leur faire prendre conscience de l'assimilation fréquente entre le discours et la réalité dont traite ce discours.

les théories
scientifiques font
l'objet de
réfutations

Il souligne l'**importance et l'utilité des débats, des controverses, des conflits... dans la production des théories scientifiques** ; celles-ci sont l'objet d'entreprises de réfutation. L'enseignement de l'HST permet de dévoiler à l'élève ce que lui masque en partie l'enseignement scientifique qu'il reçoit au collège et au lycée. En effet l'enseignement traditionnel propose à l'élève des concepts, modèles ou théories entièrement construits et qui ne peuvent être soumis à réfutation en raison de leur acceptation par la communauté scientifique.

recentrer
l'enseignement
scientifique sur les
problèmes plutôt
que sur les
résultats

Il s'intéresse d'abord à l'**histoire des problèmes plus qu'à celle des résultats**. Cet aspect prend en partie à contre-pied l'enseignement scientifique traditionnel qui se focalise plus particulièrement sur les résultats. Cela permet de relativiser, auprès des élèves, les acquis de la science et de souligner le rôle essentiel pour l'élaboration de la connaissance scientifique des tâtonnements, erreurs et remises en cause. Cela peut permettre à l'élève de prendre conscience par comparaison, de son propre mode de construction du savoir et de modifier à ses yeux (mais aussi à ceux de ses professeurs) le statut de l'erreur.

le discours scientifique est une reconstruction humaine

Il montre que la science mais aussi l'histoire est un construit. Le discours historique est une **reconstruction humaine** à partir de faits au même titre que le discours scientifique. Chaque domaine ayant ses caractéristiques et limites propres. Un domaine nouveau, pour la plupart des élèves, comme l'est l'HST offre un terrain plus souple pour cette prise de conscience.

réfléchir sur les transferts de concept d'une science à l'autre

Il réfléchit sur les **conditions de transfert d'un concept d'une science à l'autre**. Sans approfondir cette question avec des élèves du secondaire, l'HST offre des occasions pour attirer leur attention sur l'emploi des concepts dans différents systèmes théoriques (du point de vue de leur évolution d'une discipline à l'autre, des domaines de validité différents etc...).

- Les implications éthiques de la production scientifique et technique

l'enseignement des sciences implique l'enseignement d'une éthique

La production technique et scientifique est un acte à la fois individuel et social qui met en jeu des valeurs. Des questions déjà anciennes resurgissent aujourd'hui avec encore plus d'acuité sur la signification du progrès scientifique, sur le rôle des sciences et des techniques dans le façonnage de nos sociétés, sur les valeurs impliquées par les orientations de recherche scientifique et technique. De son côté l'enseignant, vis-à-vis de l'élève, n'est pas un simple instructeur qui livre des résultats scientifiques ou techniques ; depuis toujours l'enseignement des sciences, tant de la nature que de l'homme et de la société, implique **l'enseignement d'une éthique** : rigueur, honnêteté, esprit rationnel et critique, respect des résultats expérimentaux ...

Cette orientation justifie encore plus fortement un travail, une interrogation et une mise en cause des représentations que chacun, élève et enseignant, a de la production scientifique et technique et des conditions d'insertion de cette production dans la société. Elle demande une réflexion sur les présupposés culturels et éthiques de cette production et de sa place dans la société.

- Des apprentissages méthodologiques et une motivation

On peut citer :

- tous les savoir-faire et méthodes développés par la lecture de textes historiques,
- les compétences que développent les travaux sur la chronologie ou la périodisation ; ils montrent que toute élaboration de l'une comme de l'autre résulte de choix.

susciter la motivation des élèves à la science

A l'articulation des finalités d'ordre didactique et de celles d'ordre culturel, **un enseignement d'HST peut être un moyen de motivation des élèves** à la science et à la réflexion sur la science par le biais de la culture. Celle-ci peut permettre aux élèves de comprendre comment la mise au point de certaines techniques, dont les conséquences sur la société ont été ou sont

construire des représentations des disciplines scientifiques plus ouvertes

encore très importantes, n'a abouti que par la maîtrise de certains concepts scientifiques fondamentaux. Cette approche amène certains élèves à être demandeurs de connaissances scientifiques.

Il travaille sur les conditions d'élaboration du savoir et contribue ainsi à la **construction de représentations «ouvertes» des disciplines scolaires** et, au delà, des savoirs scientifiques. Celles-ci peuvent favoriser les résultats des élèves dans la discipline. Cette hypothèse a été confirmée par les résultats obtenus lors d'une recherche INRP sur l'articulation CM2-6^e : *«Il existe des liens entre la réussite scolaire des élèves dans une discipline et les représentations que ceux-ci ont de son objet, de sa fonction, de ses méthodes, de son champ d'application,... Ainsi des élèves pour qui une discipline scolaire n'a de finalité qu'elle-même, rencontrent plus de difficultés que ceux pour qui la discipline à une utilité sociale ou pratique.»*⁽⁷⁾

les représentations des élèves sur les relations STS et leur évolution après enseignement

Une enquête auprès d'élèves de collèges montre quelques-unes de leurs représentations sur les relations STS qui ont été relevées avant enseignement et comment elles ont évolué après un enseignement d'HST qui les avait choisies comme objectifs. D'une part, seront présentées celles très ancrées dans l'esprit des élèves d'une science désintéressée et d'une technique orientée vers le profit et les aspects matériels et d'autre part, celle de la technique qui ne serait qu'une application a posteriori de la science. Ces visions des relations STS chez les élèves sont pour les historiens des obstacles à la construction du savoir historique par exemple sur les deux révolutions industrielles au 19^e siècle. Le choix de ces objectifs-obstacles à dominante socio-économique à l'intérieur du groupe INRP a été orienté par sa composition pluridisciplinaire. Les séquences d'enseignement réalisées ont porté sur l'histoire du transport de l'électricité et de l'éclairage électrique.

1.2. Représentations des élèves sur les relations entre la science, la technique et la société

• Avant tout enseignement d'HST

En classe de quatrième (50 élèves), la question suivante est posée :

«Selon vous, quel facteur joua le rôle le plus important dans le foisonnement des inventions au 19^e siècle : le hasard, l'imagination, l'observation, le besoin, l'argent ? Classez-les du plus important au moins important.»

Les élèves privilégient **l'imagination** (1 élève sur 2) et **l'observation** (1 élève sur 3) comme causes des nombreuses inventions au 19^e siècle. Le hasard, le besoin et surtout l'argent

(7) *Les enseignements en CM² et en 6^e - Ruptures et continuités*, Paris, INRP, collection *Rapports de Recherches*, 1987.

pour les élèves, l'imagination et l'observation sont les principales causes des découvertes au 19^e siècle

n'ont que peu d'influence pour eux. Avant cette question, les élèves avaient étudié, dans le cadre des programmes de la classe, les progrès scientifiques et techniques au 19^e siècle (la révolution industrielle). Cet enseignement n'avait pas les caractéristiques décrites précédemment pour une introduction de l'HST.

Toujours en quatrième, la question suivante a été posée.

«*Selon vous, qu'est-ce qui poussa les hommes à exploiter les inventions nouvelles :*
a - le désir d'améliorer les conditions de vie
b - le désir de gagner de l'argent
c - la fascination exercée par le progrès
d - le désir de rendre son pays plus puissant ?
Choisissez une réponse parmi les 4 proposées.»

l'amélioration des conditions de vie est un facteur prépondérant à l'exploitation des inventions ; l'aspect économique est sous-estimé

Deux élèves sur trois choisissent la formulation a ; 1 sur 3 la formulation c ; les deux autres n'étant pratiquement pas choisies par les élèves.

On retrouve, partiellement ces résultats en seconde et première ; à ce niveau l'aspect économique est davantage pris en compte sans devenir prépondérant (15 à 20 % des élèves).

Il apparaît donc assez nettement que les élèves, avant tout enseignement portant sur l'HST, montrent une méconnaissance des mécanismes économiques qui interviennent entre la science, la technique et la société.

Cependant dans une question relative aux raisons du décalage chronologique entre le premier transport de l'électricité (1882) et l'électrification complète des campagnes françaises (vers 1950), l'aspect économique est pris en compte par les élèves de 2^e cycle. La question était formulée de la manière suivante :

«*En 1882 est réalisé le premier transport d'électricité par Desprez*
En 1884 un quartier de New York est éclairé à l'électricité
En 1900 le premier métro est inauguré à Paris
En 1920 commence l'électrification des campagnes
En 1946 EDF, qui vient d'être créée, achève l'électrification des campagnes.
⇒ Comment expliquez-vous le décalage entre le premier transport de l'électricité (1882) et l'électrification des campagnes (1920/1953) ?»

les élèves ont une image désintéressée du savant au 19^e siècle

Une autre représentation sociale, l'image du savant passionné et désintéressé, surgit lorsqu'on évoque les relations S.T.S. à travers l'individu. Même si la question a comme support un texte sur Edison évoquant sa motivation mercantile (voir ci-dessous), une majorité d'élèves (environ 2 sur 3) place la passion de la recherche en tête ; sa volonté de faire des profits est rejetée en dernière position ! Dans l'esprit des élèves, on relève aussi souvent la volonté d'améliorer le sort de l'humanité comme motivation du savant dans son travail.

Voici le récit que fait Edison de la fabrication des lampes :

Au moment où nous inaugurâmes l'éclairage électrique, il nous fallut une usine pour la fabrication des lampes. La Compagnie Edison ne semblant pas disposée à entreprendre la production, nous organisâmes une petite fabrique de lampes à Menlo-Park avec l'argent que je pus prélever tant sur mes autres inventions que sur mes droits, et avec certaines sommes qui me furent avancées. A cette époque, le prix de revient d'une lampe était d'un dollar vingt-cinq environ. Dans ces conditions, je fis cette remarque à la Compagnie : « Si vous voulez passer avec moi un contrat, valable jusqu'à l'expiration des brevets, je fabriquerai toutes les lampes dont aura besoin la Compagnie, et je les livrerai au prix de quarante cents par lampe ». La Compagnie sauta sur cette offre et un contrat fut dressé. Nous achetâmes alors à une vente publique, à Harrison, dans le New Jersey, une grande fabrique de toile cirée. Nous réussîmes à l'acquérir à un très bon prix, ne payant comptant qu'une petite somme. La fabrique de lampes fut alors transférée de Menlo-Park à Harrison.

La première année, la lampe nous revenait à 1 dollar et 10 cents. Nous la vendions 40 cents ; heureusement nous n'en eûmes pas plus de trente à quarante mille à fournir. L'année suivante, elles nous revenaient à 70 cents, et nous la vendions toujours 40 cents. On en fabriqua beaucoup ; par conséquent, nous perdîmes plus d'argent la seconde année que la première. La troisième année, je parvins à construire des machines et à modifier les procédés jusqu'à ce que ce prix fut abaissé et que les lampes ne nous coûtassent plus que 50 cents environ. Le prix de vente étant le même : 40 cents, je perdis plus d'argent cette année-là que les autres, la vente augmentant rapidement.

La quatrième année, j'abaissai le prix de revient à 37 cents, et je rattrapai en une année tout l'argent que j'avais perdu antérieurement. Finalement les lampes ne me coûtèrent plus que 22 cents ; je les vendais 40 cents, et on en fabriquait des millions, ce qui fit que dans les milieux financiers on estima l'affaire lucrative ; on en conclut qu'il fallait l'avoir et nous obtînmes tout l'argent que nous désirions.

Nous avons fondé les usines de Harrison, avec un capital initial réparti en cent actions, ou parts, de 100 dollars chacune. Un de nos employés se trouva bientôt gêné et vendit deux actions à un certain Bob Cutting. Jusqu'alors, nous n'avions rien donné comme intérêt ; or, nous arrivions au point où l'administration pouvait fixer chaque samedi soir un dividende, ce que nous n'avions pas encore fait à l'époque où Cutting avait acheté ses actions aussi, après avoir touché ses dividendes trois semaines consécutives, il nous téléphona, désirant savoir quel était cet établissement qui pouvait ainsi payer un dividende hebdomadaire. L'usine faisait alors un chiffre d'affaires de 1 085 000 dollars. ⁽⁸⁾

⇒ Pour quelles raisons Edison s'intéresse-t-il à la mise au point de la lampe à incandescence ?

- * il est passionné par la Recherche
- * il veut réaliser des profits
- * il est dans un milieu, les États-Unis, favorable
- * la découverte de la lampe prolonge celle du phonographe qu'il vient de réaliser
- * il répond aux préoccupations du gouvernement américain.

Choisissez parmi ces réponses, celles qui vous paraissent vraies, et classez-les par ordre d'importance en les numérotant 1, 2, 3.

(8) MEADOWCROFT W., *Edison*, Paris, Payot.

certains pays semblent favoriser aux yeux des élèves l'éclosion des découvertes

Le pays dans lequel est faite la découverte semble orienter aussi le choix des élèves. A titre d'exemple, les États-Unis sont pour eux un pays qui permet à un inventeur de mieux exploiter sa découverte.

Au cours de discussions de classe (en 1^{er} et 2^e cycles), on a pu cerner une différence entre les images que se font les élèves du chercheur et du technicien-découvreur. Dans l'esprit de beaucoup d'entre eux, **le chercheur travaille souvent seul, sans relation avec la société :**

- pour financer ses propres besoins et ses recherches
- pour exploiter les résultats de ses recherches
- pour participer à la vie politique de la société.

le technicien a une image différente du scientifique ; il est plus en relation avec la société ; il est impliqué économiquement

Alors que **le technicien est plus en relation avec la société :**

- c'est un «bricoleur de génie» qui s'intéresse au quotidien des gens
- il est plus attaché à l'argent que le savant (il est moins désintéressé et doit rechercher des financements pour ses travaux)
- il s'occupe plus de l'exploitation de ses découvertes.

les élèves voient la technique comme une application de la science

A la suite d'entretiens individuels, on a relevé aussi bien dans le 1^{er} que le 2^e cycle, que les relations entre la science et la technique sont mal perçues. Une hiérarchisation existe dans l'esprit d'une majorité d'élèves : **la technique n'est qu'une application de la science ; elle est moins noble, moins valorisante que cette dernière.** Pour eux, la connaissance technique ne peut être antérieure à la connaissance scientifique. Les élèves n'ont pas idée que :

- des objets techniques fonctionnent parfois sans que l'on sache scientifiquement pourquoi ;
- les scientifiques ont besoin de nouvelles techniques pour faire progresser leurs recherches (ex. : appareils de mesures, d'enregistrement, etc...).

il y a peu de lien entre la science, la technique et la société

Par ailleurs, **les élèves ne font pratiquement jamais le lien entre la science et la technique d'une part et la société d'autre part :**

- les découvertes scientifiques ou techniques ne sont jamais replacées dans leur contexte historique
- les découvertes ne sont pas impulsées par une volonté d'exploitation industrielle et commerciale
- les recherches ne sont pas orientées en fonction de besoins sociaux.

les élèves ont une vision linéaire et finaliste de l'histoire

Enfin des entretiens individuels et des discussions de groupe ont permis de mettre en évidence que **les élèves ont une vision linéaire de l'histoire.** En effet, ces discussions (avant tout enseignement de l'HST) ont permis de montrer que **les élèves avaient des tendances finalistes :** toutes les découvertes scientifiques et techniques antérieures ne peuvent mener qu'à la situation où nous sommes actuellement. Pour les élèves, la progression de la recherche scientifique et technique n'est pas objet de débat, de doute ou de rupture ; ils expriment une idée de progrès constants, cumulatifs, sans erreurs et sans les

soubresauts dûs à des changements d'orientation provoqués par des remises en cause incessantes. Cette vision cumulative de l'histoire du savoir technique correspond assez bien à celle des historiens des techniques que sont Daumas, Gilles et Caron. Par contre, elle est en complète contradiction, en ce qui concerne l'histoire de la construction du savoir scientifique, avec les idées généralement développées par les historiens des sciences (Russo, Taton et Koyré).

la science enseignée est le résultat d'une histoire jugée

Cette vision de l'histoire en ce qui concerne la science n'est-elle pas influencée en partie par le positivisme ambiant dans l'enseignement scientifique qui ne fait retenir et enseigner, par souci d'efficacité que les découvertes, modèles, théories qui se sont avérés fructueux pour la construction de la connaissance scientifique. Toutes les voies suivies au cours de l'histoire, reconnues par la suite comme erronées par la communauté scientifique, sont oubliées par celle-ci et par suite non enseignées. Les élèves ne peuvent ainsi prendre conscience que les connaissances scientifiques et techniques actuellement enseignées sont passées à travers ce filtre ; **ces connaissances sont le résultat d'une histoire jugée a posteriori**. Ce jugement n'est jamais présenté de façon explicite et reste toujours du domaine du non-dit.

une vision linéaire de l'histoire demande peu d'effort de mise en relation à l'élève

Cette vision linéaire de l'histoire n'est pas seulement due à l'influence de l'enseignement. Nous émettons l'hypothèse que les capacités de raisonnement des élèves interviennent aussi. En effet un mode d'enchaînement linéaire des événements, où un événement ne dépend que d'un autre, demande moins d'efforts de mise en relation par l'élève (analogue aux fonctions à une seule variable en sciences) que des enchaînements ramifiés où plusieurs événements interviennent sur un autre (fonctions à plusieurs variables).

• Après un enseignement d'HST

Dans les différentes équipes de la recherche INRP, les relations STS liées aux obstacles choisis ont été abordées à partir de deux thèmes (se reporter au rapport de la recherche, à paraître à l'INRP), l'histoire du transport de l'électricité et l'histoire de l'éclairage électrique (travaux d'Edison).

Un post-test a été réalisé après chacune de ces séquences pour évaluer leurs influences sur les représentations sociales des élèves qui avaient été observées en pré-test. Pour faire ces évaluations, certaines questions utilisées avant enseignement ont été reprises.

après un enseignement d'HST les élèves ont moins tendance à minimiser l'aspect économique dans les relations STS

Il apparaît alors que **les élèves** (quel que soit leur niveau) **ne minimisent plus l'aspect économique dans les relations S.T.S.** (en particulier comme raison à l'exploitation des inventions). Cependant, les représentations des élèves peuvent être modifiées différemment selon la séquence utilisée. Ainsi, après l'étude du transport de l'électricité, une majorité d'élèves qui mettent en avant l'aspect financier, pensent que c'est en raison du faible coût de l'énergie hydraulique que Bergès s'est intéressé à celle-ci. Très peu d'entre eux choisissent la volonté

moins d'élèves pensent à une hiérarchie entre la science et la technique

de ce dernier de faire des profits. Par contre, cet aspect apparaît davantage chez les élèves après avoir étudié la démarche d'Edison, sans cependant supplanter dans leur esprit sa passion de la recherche.

Par contre, après enseignement et quel que soit le support utilisé, un élève sur trois pense que les relations entre la science et la technique se font dans les deux sens, sans que l'une soit primordiale sur l'autre. Ils ne sont plus qu'un tiers à penser que la science est toujours en amont de la technique.

Il apparaît aussi assez nettement après enseignement, que le développement des techniques est influencé par les facteurs suivants :

- l'argent disponible pour financer les recherches (en particulier celui de l'État)
- les gains financiers qui peuvent être dégagés par les développements industriels, conséquences de ces recherches
- le développement des communications (en particulier dans le monde scientifique et technique)
- des éléments personnels liés à des motivations de nature désintéressée et psychologique (attirait pour les techniques nouvelles, curiosité etc...).

Enfin après enseignement, on assiste à la **juxtaposition dans l'esprit des élèves** :

certaines représentations très ancrées subsistent

d'autres sont modifiées

- **de certaines représentations très ancrées** :
 - le chercheur passionné qui répond à des critères individuels indépendants du contexte social
 - les sciences et les techniques qui permettent les progrès et l'amélioration du bien-être des hommes
 - la référence à des images historiques et mythiques : Volta, Napoléon, les États-Unis, le rôle de l'État ...
- **de connaissances précises et bien intégrées** :
 - la science et la technique sont en inter-relation
 - la science et la technique sont intégrées aux besoins d'une société, en dépendant de problèmes économiques et financiers
 - une évolution des conditions de développement des sciences et techniques au cours du 19^e siècle.

1.3. Les écueils et difficultés ⁽⁹⁾

L'enseignement de l'HST présente des risques et fait face à des difficultés dont il faut apprécier la signification et l'importance. Les unes et les autres ne sont pas du même ordre et les réponses apportées diffèrent selon les projets. Nous en retiendrons trois, à titre d'exemple :

• **L'anecdote.** Une tradition, souvent rattachée à une conception obsolète de la biographie, fait une place encombrante à l'anec-

(9) Rapport de recherche INRP sur l'enseignement de l'HST (à paraître).

l'utilisation de
l'anecdote doit
être limitée

dote. Celle-ci peut être utile ou plaisante sous condition d'être limitée et située comme telle. Inversement, un usage trop appuyé conduira au renforcement des idées contre lesquelles nous nous élevions précédemment ; la production scientifique et technique est réduite à des circonstances hasardeuses, au «génie» de tel ou tel découvreur...

l'anachronisme
est une erreur en
soi

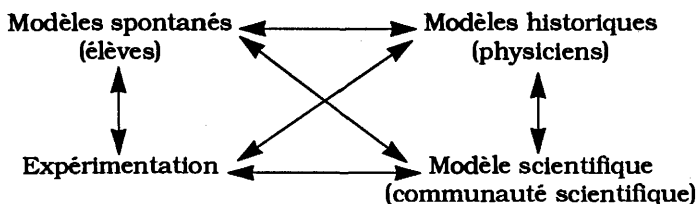
• **L'anachronisme.** Pour l'historien, tout anachronisme est a priori une erreur. Mais être averti du fait n'est pas nécessairement être protégé du danger. L'anachronisme peut se cacher dans bien des lieux. Sans faire ici de longs développements épistémologiques, nous rappellerons pour mémoire tous les débats de la communauté des historiens sur le rôle de la personnalité même du chercheur dans la construction de l'objet historique et du discours sur cet objet. Si la chronologie des faits doit être rigoureusement établie, celle-ci n'est pas donnée au départ mais résulte des choix établis en fonction du ou des problèmes que l'on se propose de traiter. Mais la chronologie n'est pas l'histoire et c'est dans le travail de construction d'un discours, d'un récit qui ordonne et relie les différents éléments de la chronologie que se trouve l'essentiel du travail de l'historien. Si cette reconstruction est toujours l'œuvre de quelqu'un, un risque particulier d'anachronisme existe avec l'HST. En effet une de ses particularités est d'être une histoire jugée ; de ce fait, il est singulièrement difficile d'analyser les productions historiques, textes ou expérimentations par exemple, en respectant autant que faire se peut les logiques intellectuelles et scientifiques qui étaient celles de leurs auteurs.

un enseignement
d'HST n'implique
pas l'idée d'une
progression
nécessaire

• **Le mythe de l'explication par les origines.** Les faits scientifiques qu'il importe de comprendre sont ceux d'aujourd'hui ; les concepts et théories scientifiques que l'élève doit s'approprier sont ceux d'aujourd'hui. L'EHST n'a pas pour objet de (dé)montrer une filiation continue, sorte de généalogie que l'on pourrait remonter jusqu'aux origines. Les théories d'aujourd'hui ne sont pas contenues «potentiellement» dans celles d'hier ou d'avant-hier. Introduire un EHST n'est pas construire l'idée d'une progression nécessaire. Ce problème à la fois historique et épistémologique concerne tous les domaines du passé des sociétés ; l'enseignement de l'histoire scolaire, à vouloir introduire une compréhension de la succession, privilégie ceux des événements que l'on présentera dans une relation de cause-conséquence, et qui apparaîtront alors comme découlant inéluctablement les uns des autres. L'EHST par les ruptures et réorganisations intellectuelles et matérielles qu'il offre à l'étude est un moyen de pallier cette difficulté ; mais, les choix des objets étudiés et les présentations qui seront mises en œuvre feront place à ce souci.

2. CONSIDÉRER AUTREMENT SES REPRÉSENTATIONS ET MIEUX CONSTRUIRE UN CONCEPT SCIENTIFIQUE

Cette finalité fixée à l'introduction de l'HST dans l'enseignement secondaire de la physique nécessite de la part du professeur les mises en relations suivantes lors de la construction de séquences pédagogiques :



2.1. Délimitation du domaine des sciences physiques concerné

Vouloir utiliser l'HS lors de la construction de concepts en sciences physiques pose un certain nombre de problèmes.

Il n'est pas
nécessaire
d'aborder tous les
concepts par le
biais de l'HST

- Un premier écueil est celui de la durée nécessairement plus grande pour réaliser une telle approche par rapport à l'introduction traditionnelle du concept. Il n'est pas question de vouloir aborder tous les concepts de la physique de cette manière, faute de temps pour traiter l'ensemble des programmes. Il faut donc faire un choix parmi les différents points des programmes. Il paraît judicieux d'utiliser alors le **concept d'objectif-obstacle** défini par J.-L. Martinand ⁽¹⁰⁾.

«Plus exactement, renonçant à définir de manière exhaustive et «opérationnelle», les objectifs, nous avons proposé de les «caractériser» par les aspects obtenus avec ce type d'analyse et susceptibles d'aider au mieux les maîtres. Dans cet esprit, notre proposition principale consiste à «focaliser» les objectifs sur les obstacles susceptibles d'être franchis par les élèves. [...]

Cette conception nouvelle des «objectifs-obstacles» a une double origine. Nous venons d'en rappeler la source pragmatique. Mais il y a aussi une source théorique : c'est la notion d'obstacle épistémologique, élaborée par Bachelard en explorant l'histoire des idées scientifiques, et sur la base de son expérience de professeur de physique. Il ne s'agit pas pour nous de transformer en objectifs les obstacles repérés par Bachelard, il s'agit de faire rejoindre deux courants : celui des pédagogues qui cherchent à travers les objectifs à rendre plus efficaces les actions didactiques et celui des épistémologues qui s'intéressent aux difficultés

(10) MARTINAND J.-L., *Connaître et transformer la matière*, Berne, P. Lang, 1986.

qu'affronte la pensée scientifique. La notion d'objectif-obstacle nous paraît être un moyen pour transformer en instrument didactique les résultats des recherches actuellement en plein développement, et qui portent sur les modes de résolution de problèmes adoptés spontanément par les élèves, ou les représentations qu'ils se font des phénomènes physiques.»

Une telle analyse des différents domaines de la physique en termes d'objectif-obstacles permet de réduire considérablement le nombre des objectifs pour lesquels un traitement spécifique (de plus longue durée en raison de la procédure didactique employée) est nécessaire pour que l'obstacle repéré soit franchissable par une majorité d'élèves.

un parallélisme partiel doit exister entre le modèle élève et le modèle historique

- Un deuxième écueil provient de la nécessité d'un **parallélisme (même partiel) entre le modèle spontané des élèves et celui des premiers physiciens** qui fait ou a fait obstacle à la construction du modèle actuellement accepté par la communauté scientifique. Précisons tout de suite notre position à ce sujet, l'élève de 1990 n'est pas dans la situation des chercheurs du début du 19^e siècle (par exemple pour l'électrocinétique) aussi bien pour les connaissances et les capacités de raisonnement qu'ils possèdent que pour leurs environnements matériels et sociaux. **L'ontogenèse ne récapitule pas la phylogenèse** : les obstacles rencontrés par les uns et les autres pour construire le savoir en ce domaine ont des origines et des natures différentes. Cependant, on constate que malgré tout, et cela dans de nombreux cas, là où ont buté les chercheurs, les élèves rencontrent aussi des difficultés. Bien souvent, les modèles spontanés que peuvent avoir les élèves ont des ressemblances troublantes avec les modèles initiaux des physiciens. C'est ce parallélisme tenu que nous nous proposons d'exploiter. Pour bien cerner ce dernier, cela impose tout d'abord que ce domaine ait été étudié aussi bien en **didactique de la physique** (en ce qui concerne les représentations et raisonnements spontanés des élèves) qu'en **histoire des sciences** (en ce qui concerne l'épistémologie) et qu'un **répertoire de textes historiques** pouvant être utilisés avec les élèves ait été constitué. Actuellement, les intersections entre les champs de la didactique et ceux de l'HS ne sont pas très fréquents. Il en existe surtout en mécanique et en électrocinétique. Les corpus de textes historiques correspondant à un domaine particulier de la physique et pouvant être utilisés à des fins pédagogiques avec des élèves du secondaire sont encore très rares dans la littérature d'HS. Ensuite, **l'analyse du «parallélisme» des modèles spontanés** doit avoir été faite pour bien cerner les différences et les similitudes entre les natures et les origines des obstacles rencontrés dans les deux niveaux précités. A notre connaissance de telles analyses n'ont pas été entreprises de façon systématique ; seuls quelques essais ont été tentés.

l'ontogénèse ne récapitule pas la phylogénèse

le domaine choisi doit avoir été étudié du point de vue des représentations des élèves ainsi que de celui de l'épistémologie du savoir

une étude comparée des modèles des élèves et historiques doit avoir été réalisée

L'approche proposée ici vise à **faire prendre conscience à l'élève de son modèle personnel** pour expliquer un phénomène physique déterminé ; modèle qui fait obstacle à la cons-

l'expérience est confrontée avec le modèle des élèves et le modèle historique

il y a focalisation de l'élève sur l'obstacle

truction de son propre savoir. Cette prise de conscience de son modèle explicatif personnel se fait par confrontation à d'autres expériences qu'il ne permet pas d'expliciter (articulation expérience-modèle personnel). Cette prise de conscience est renforcée par **la comparaison avec le modèle initial proposé par les physiciens** qui conduisait sensiblement aux mêmes difficultés (articulation modèle historique-modèle personnel). Ce renforcement social permet une déculpabilisation de l'élève en modifiant le statut de l'erreur relatif à un mode de pensée spontanée inhérent à la plupart des individus. **Il focalise l'élève sur l'obstacle** qu'il doit franchir avec l'aide de son professeur pour construire un savoir scientifique. Cette stratégie, qui intègre l'HS, a en outre l'avantage de montrer à l'élève que le savoir scientifique est le résultat d'une construction humaine avec ses erreurs et ses rectifications.

Pour rendre plus concrètes ces propositions prenons un exemple de séquence dont une partie a été expérimentée et évaluée dans le cadre de la recherche INRP sur l'enseignement de l'HST.

Toutes les considérations précédentes ont permis de choisir une partie extrêmement limitée de l'électrocinétique présentant un obstacle majeur à franchir par les élèves : **la construction du concept de courant, dans le cas de circuits électriques simples en série ne contenant que des conducteurs métalliques.**

Ce domaine très limité a été particulièrement bien étudié ces dernières années, aussi bien du point de vue didactique que du point de vue épistémologique. De plus, il a l'avantage de pouvoir être abordé aussi bien en 1^{er} cycle (classe de quatrième) qu'en 2^e cycle (classe de seconde).

2.2. Présentation du modèle élémentaire utilisé par les physiciens

Avant toute étude des modèles spontanés des élèves et des modèles de départ des physiciens, il est important de rappeler le modèle élémentaire actuellement admis et enseigné dans le secondaire. C'est le modèle qui doit être acquis par les élèves à la fin de leurs études au lycée.

Prenons le cas d'un circuit comprenant une pile et une ampoule.

Du point de vue énergétique, la pile a une double fonction :

- elle stocke de l'énergie sous forme chimique
- elle transforme cette énergie chimique en énergie électrique.

De même, l'ampoule a deux fonctions :

- elle transforme l'énergie électrique qu'elle reçoit en énergie thermique et lumineuse
- elle ne stocke pas de l'énergie mais la dissipe dans le milieu extérieur.

Au niveau élémentaire avec les élèves, le problème est de fournir une représentation du mécanisme qui assure le transfert d'énergie. **D'où le point de vue matériel**, le véhicule de l'énergie de la pile à l'ampoule est le courant électrique. **Dans**

modèle simplifié du courant électrique dans les conducteurs métalliques

un conducteur métallique, la conduction est assurée par les électrons de conduction ou électrons libres. Si le conducteur n'est pas relié aux deux bornes d'une pile, les mouvements des électrons libres sont désordonnés et aléatoires ; ils sont statistiquement au repos. Lorsqu'il est raccordé aux deux bornes d'une pile, l'ensemble des électrons libres du conducteur se met en mouvement dans une même direction et un même sens (de la borne négative à la borne positive de la pile). **La présence d'une pile dans un circuit fermé provoque le mouvement d'ensemble des électrons libres ; ce dernier est appelé courant électrique.**

La pile jouant, si on veut, le rôle d'une pompe à électrons (elle ne stocke ni ne crée des électrons), **la quantité d'électrons libres dans le circuit reste constante ; en régime permanent, il n'y a donc ni accumulation ni disparition de charges ni localement ni globalement.**

Lors du passage des électrons libres dans le filament de l'ampoule, ceux-ci entrent en collision avec les atomes du filament. L'échauffement qui en résulte est responsable de la lumière émise. L'intensité du courant électrique étant définie comme la quantité de charge électrique traversant une section du conducteur par unité de temps. **Cette intensité est donc constante en tout point du circuit-série. Cela est toujours vrai quels que soient les composants branchés dans le circuit.** En particulier, si on branche plusieurs ampoules identiques, celles-ci brilleront de la même façon (mais moins fortement que si il n'y en avait qu'une seule ; la pile restant toujours la même).

2.3. Étude comparative sommaire du modèle utilisé spontanément par les élèves et de celui élaboré initialement par les physiciens de la première moitié du 19^e siècle

le modèle des courants antagonistes serait une conséquence de la nécessité opératoire du branchement de l'ampoule sur la pile

En électrocinétique, les élèves comme les physiciens du début du 19^e siècle utilisent ou ont utilisé des modèles qui en apparence sont relativement proches ; ce sont le modèle des courants antagonistes et le modèle circulatoire avec épuisement de courant. Dans cet article, nous nous limiterons d'une part à l'étude comparative des modèles des courants antagonistes des élèves et des chercheurs du début du 19^e siècle et d'autre part à la présentation d'exemple de séquence pédagogique réalisée en classe.

• Caractéristiques du modèle pour les élèves

D'après l'étude faite par Tiberghien et Delacôte ⁽¹¹⁾ certains enfants reconnaissent l'importance des deux pôles de la pile par lesquels ils font sortir deux courants qui se rejoignent dans

(11) TIBERGHIE A. et DELACÔTE G., «Manipulations et représentations de circuits électriques simples chez les enfants de 7 à 12 ans», *Revue Française de Pédagogie*, 34, 1976.

l'ampoule où ils sont consommés. Pour ces auteurs, le modèle spontané des courants antagonistes est une conséquence de la nécessité opératoire du branchement de l'ampoule sur la pile. Osborne ⁽¹²⁾ a aussi montré l'utilisation spontanée, par des élèves du primaire, de ce modèle explicatif dans le cas du branchement d'une ampoule sur une pile ronde. En 1984, Shipstone évalue à environ 40 %, le pourcentage des élèves de 12 ans qui utilisent ce modèle pour expliquer les phénomènes observés dans un circuit-série comprenant plusieurs ampoules ⁽¹³⁾. Il note par ailleurs que ce nombre décroît jusqu'à devenir pratiquement nul à 17 ans. Enfin, Johsua ⁽¹⁴⁾ en reprenant les travaux de Maury ⁽¹⁵⁾ et Anderson ⁽¹⁶⁾ émet l'hypothèse que ce modèle recouvre plusieurs représentations :

- «Pour certains élèves, les deux fils transportent le même type de courant. «Il faut deux fils pour amener plus de courant». Cette représentation est en fait une amélioration de la représentation unifilaire, souvent produite par la nécessité de tenir compte de l'expérience, qui impose la présence de deux fils (Maury, 1981)»

- «Pour d'autres, il y a bien deux courants différents qui sortent de la pile pour aller à l'ampoule «faire des étincelles». Cette représentation peut être produite par la nécessité d'intégrer cognitivement la présence d'une dissymétrie sur la pile (préalablement connue par certains élèves), mais elle peut aussi constituer un premier pas vers une tentative de résoudre la contradiction entre les aspects matériel et énergétique du «fluide». Ici, deux fluides différents sont en mouvement (sous l'aspect matériel) et, de leur rencontre, naît un événement nouveau (énergétique) (Anderson, 1984). Cependant, la perte d'énergie est encore complètement liée à la perte des «matières». Parfois, ces dernières sont présentées comme «stockées» séparément dans la pile (un réservoir «plus», un réservoir «moins»). L'épuisement de la pile correspond à l'épuisement de ces stocks. La représentation «à courants antagonistes» peut en définitive apparaître comme intermédiaire entre la représentation unifilaire et les représentations «circulatoires». Cet état peut s'interpréter, à notre avis, dans le cadre d'une tentative de résorption de la contradiction due au caractère «mixte» de la métaphore du fluide.»

la contradiction entre les aspects matériels et énergétiques du «fluide» entraînerait certains élèves à construire le modèle des courants antagonistes

-
- (12) OSBORNE R., «Toward modifying children's ideas about electric current». *Journal of research in science and technological education*, 1, 1983.
- (13) SHIPSTONED.-M., «A study of children's understanding of electricity in simple circuits». *European journal of science education*, 6, 1984.
- (14) JOHSUA S. et DUPIN J.-J., *Représentations et modélisations : le «débat scientifique» dans la classe et l'apprentissage de la physique*, Berne, P. Lang, 1989.
- (15) MAURY L., *Expérience pédagogique à l'école élémentaire*, Montpellier, IREM, 1981.
- (16) ANDERSON A., *Pupil's thinking and course requirements in science teaching*. Project n° 2131, University of Gothenburg, 1980.

• Caractéristiques du modèle pour les premiers physiciens

les physiciens, influencés par l'électrostatique, pensèrent à la présence de deux courants antagonistes

Jusque dans les années 1840, les physiciens furent influencés par l'électrostatique et utilisèrent en le transposant et en le modifiant progressivement le «schème électrostatique de décharge» pour modéliser les phénomènes observés lors de montage utilisant la pile de Volta. Brièvement, les physiciens considéraient la pile comme une bouteille de Leyde ayant la propriété de se décharger et se recharger continuellement. Ainsi, **ils imaginaient un double courant d'électricité positive et négative sortant des bornes de la pile et circulant en sens inverse dans le circuit**. Il est à signaler qu'en 1750, Franklin, en électrostatique, avait fait l'hypothèse d'un courant unique lors de la décharge ; celle-ci ne fut pas retenue par la communauté scientifique qui penchait plutôt à l'époque pour l'hypothèse des deux fluides. Ampère écrivait en 1822 : «*On est généralement d'accord qu'elle (l'action électromotrice) continue à porter les deux électricités dans les deux sens où elle les portait auparavant, en sorte qu'il en résulte un double courant, l'un d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, partant en sens inverses des points où l'action électromotrice a lieu et allant se réunir dans la partie du circuit opposée à ces points.*»⁽¹⁷⁾

Ampère continuait : «*Les courants, dont je parle, vont en s'accéléralant jusqu'à ce que l'inertie des fluides électriques et la résistance qu'ils éprouvent par l'imperfection des meilleurs conducteurs fassent équilibre à la force électromotrice ; après quoi, ils continuent indéfiniment avec une vitesse constante tant que cette force conserve la même intensité.*»

le modèle des courants antagonistes s'affine d'année en année

Quelques années plus tard, son modèle s'était modifié, il écrivait en 1826 : «*...Les deux fluides parcourent continuellement les fils conducteurs d'un mouvement extrêmement rapide, en se réunissant et se séparant alternativement dans les intervalles de ces fils*» ... puis «*C'est dans ce fluide électrique intermoléculaire (avec les molécules métalliques du conducteur) que se passent tous les mouvements, toutes les décompositions et recompositions qui constituent le courant électrique.*»

Ampère introduit le concept de courant sans abandonner l'idée des courants antagonistes

Malgré cela, c'est dès 1820 qu'**Ampère introduisait le concept de courant électrique sans abandonner l'idée des courants antagonistes.**

(17) BENSEGHIR A., *Influence des conceptions électrostatiques du début du 19^e siècle sur la formation des concepts de l'électrocinétique*. Mémoire de DEA d'histoire et philosophie des sciences, Université Paris 1, 1981.

MÉMOIRE

Présenté à l'Académie royale des Sciences, le 2 octobre 1820, où se trouve compris le résumé de ce qui avait été lu à la même Académie les 18 et 25 septembre 1820, sur les effets des courans électriques.

PAR M. AMPÈRE.

Mais lorsque les deux corps où les deux systèmes de corps entre lesquels l'action électromotrice, produite par le contact des métaux, a lieu, sont d'ailleurs en communication par des corps conducteurs ---

--- il en résulte un double courant, l'un d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, partant en sens opposés des points où l'action électromotrice a lieu, et allant se réunir dans la partie du circuit opposée à ces points. --- C'est cet état de l'électricité dans une série de corps électromoteurs et conducteurs, que je nommerai, pour abrégér, *courant électrique*; et comme j'aurai sans cesse à parler des deux sens opposés suivant lesquels se meuvent les deux électricités, je sous-entendrai toutes les fois qu'il en sera question, pour éviter une répétition fastidieuse, après les mots *sens du courant électrique*, ceux-ci : de l'*électricité positive*; en sorte que s'il est question, par exemple, d'une pile voltaïque, l'expression : *direction du courant électrique dans la pile*, désignera la direction qui va de l'extrémité où l'hydrogène se dégage dans la décomposition de l'eau, à celle où l'on obtient de l'oxygène; et celle-ci : *direction du courant électrique dans le conducteur qui établit la communication entre les deux extrémités de la pile*, désignera la direction qui va, au contraire, de l'extrémité où se produit l'oxygène à celle où se développe l'hydrogène.

AMPÈRE (1775-1836), cité in *Annales de Chimie et de Physique*, 1820 (Tome 15).

- Commentaires

On peut constater dans ce cas une grande similitude entre le raisonnement spontané des élèves et celui des physiciens du début du 19^e siècle. Cependant l'origine de ce raisonnement est fort différente.

malgré une
apparente
similitude les deux
modèles se
distinguent sur de
nombreux points

- Pour les physiciens, **le paradigme du schème de décharge de l'électrostatique** est très prégnant dans leur esprit jusqu'en 1840 ; la pile est considérée comme un condensateur à charge et décharge continues. Ils envisagent donc les effets dans le circuit (dont la notion ne se dégagera que vers 1820-1825) comme la conséquence de deux courants antagonistes. De plus, pour mieux répondre aux phénomènes observés et aux premières mesures effectuées, ils feront évoluer le modèle en le complexifiant tout en mettant en place progressivement le modèle circulaire de courant unique qui ne s'imposera que dans la deuxième partie du 19^e siècle.

- Pour les élèves, il semblerait que la nécessité expérimentale de placer deux fils pour alimenter une ampoule par une pile ayant deux bornes différenciées soit à l'origine de l'utilisation spontanée du modèle des courants antagonistes. Les élèves de 10 ans n'ayant aucune idée des phénomènes électrostatiques, ils n'envisagent pas la pile comme un condensateur (bien qu'ils la considèrent comme un réservoir d'électricité) ayant la possibilité de se décharger et se recharger. Cependant, **le vécu de l'élève** (observation d'étincelles lors du branchement d'une fiche dans une prise) **pourrait renforcer l'induction vers ce modèle**. Enfin, l'introduction du modèle circulaire de courant unique fait disparaître rapidement le modèle précédent. Les deux modèles ne semblent pas coexister dans l'esprit des élèves.

2.4. Stratégie pédagogique adoptée dans les séquences d'enseignement

- La question de la prise en compte des raisonnements spontanés des élèves dans l'enseignement

Les séquences d'enseignement s'adressant à des élèves de 13-14 ans en classe de quatrième (en respectant le niveau où se fait l'introduction du modèle du courant dans les programmes officiels), nous avons vu que les études de didactique relatives à ce sujet avaient mis essentiellement en évidence deux modèles spontanés utilisés par les élèves dans le champ couvert par les situations envisagées. Rappelons que ces deux modèles principaux sont :

- modèle des courants antagonistes
- modèle circulaire d'un courant unique avec épuisement.

Faut-il prendre en compte ces modèles spontanés ou faut-il les ignorer purement et simplement en imposant le modèle scientifique ?

traditionnellement,
l'enseignement
ignore les
représentations
des élèves

Ce deuxième point de vue revient à admettre que la chose enseignée efface automatiquement la connaissance spontanée antérieure. Or depuis les travaux de Piaget, **nous savons qu'un élève n'est pas vierge devant la connaissance, que des structures cognitives existent dans l'esprit de l'élève et qu'elles interfèrent avec les apports nouveaux.** Dans l'enseignement traditionnel, on adopte le deuxième point de vue, on ignore totalement les connaissances et modes de raisonnement spontanés de l'élève ce qui conduit inconsciemment l'élève à les refouler temporairement. Citons à ce propos une publication de l'équipe de didactique des sciences de l'INRP en 1980 ⁽¹⁸⁾ : *«ce qu'il faut voir, c'est que si les représentations sont ignorées, elles ne sont pas en réalité évacuées, elles sont seulement refoulées... le sujet n'acquiert qu'une illusion de savoir : un savoir purement verbal, l'application stéréotypée d'une recette, mais les vieilles conceptions reparaitront à la première occasion un peu inhabituelle.»*

Le savoir implicite constitue un obstacle majeur pour l'enseignement et il est indispensable de le prendre en compte ! Mais comment ? Faut-il comme Bachelard le propose détruire la connaissance antérieure ? *«L'esprit scientifique ne peut se constituer qu'en détruisant l'esprit non scientifique»* ⁽¹⁹⁾.

Ou encore faut-il, comme le propose un groupe de chercheurs de l'INRP, **se servir des représentations des élèves comme d'une voie d'approche pour l'enseignant dans la construction d'une stratégie pédagogique** ⁽²⁰⁾. L'enseignant devant les rectifier pour en faire, pour l'élève, progressivement un savoir scientifique. Mais cela ne revient-il pas à les détruire d'une certaine manière ? Dans cette dernière approche l'enfant est actif, il est lui-même partie prenante dans la construction de ses connaissances.

doit-on faire
disparaître les
raisonnements
spontanés des
élèves ?

Ces deux approches sont extrêmes et une approche plus nuancée doit être prise en compte. Mais à ce niveau se pose une question : **que ce soit par destruction ou évolution doit-on faire disparaître les raisonnements naturels ?** Cette question a été posée par J.L. Closset ⁽²¹⁾ dans sa thèse. Citons-la : *«Dans l'immense majorité des cas, nous y répondons le plus clairement qui soit : non. En effet, le savoir commun n'a rien d'une tare génétique : le plus souvent, il est utile. Il s'est d'ailleurs construit en fonction de nécessités opératoires et y répond en général d'une façon plus simple, plus rapide et finalement plus efficace que le savoir scientifique.»* et encore : *«On en arrive à cette situation paradoxale, à savoir que les raisonnements faux*

(18) HOST (coord) *«Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire - Démarches pédagogiques en initiation physique et technologique»*, Paris, INRP, collection Recherches Pédagogiques, 108, 1980.

(19) BACHELARD G., *«La formation de l'esprit scientifique»*, Paris, Vrin, 1938.

(20) HOST (coord.), op. cit. note 18

(21) CLOSSET J.-L., *«Le raisonnement séquentiel en électrocinétique»*, Thèse de 3^e cycle, Paris 7, 1983.

conduisent à des résultats justes là où des raisonnements justes ne permettraient pas de conclure.»

Parmi les raisonnements spontanés utilisés par les élèves on peut déterminer trois catégories :

une
catégorisation
peut être réalisée
en ce qui
concerne les
différents
raisonnements
spontanés des
élèves

- **les raisonnements naturels qui sont pleinement compatibles avec la connaissance scientifique.** Ils devraient être privilégiés par l'enseignement ;

- **ceux qui sont illégitimes mais qui encadrés par l'expérience et le contact direct avec le réel, conduisent à des prévisions correctes** et sont utiles voire indispensables. Il ne semble pas nécessaire de les modifier dans un premier temps ;

- **ceux qui engendrent l'erreur**, car utilisés en dehors des situations pour lesquelles ils étaient opératoires. Il sera nécessaire de les modifier.

un certain
nombre de
travaux montrent
que ces
représentations
seraient
indestructibles

Ces deux approches, avons-nous dit, tendent à détruire les raisonnements spontanés ; or on peut émettre l'hypothèse, à partir des résultats d'un certain nombre de travaux, que **ces représentations sont indestructibles**. En effet, il a été montré dans des recherches menées à l'INRP ⁽²²⁾ que, si celles-ci ont pu être remplacées dans l'esprit des élèves par un savoir scientifique dans des situations données, dès que l'élève se retrouve dans une situation nouvelle inconnue de lui, il aura tendance à réutiliser les schèmes spontanés construits antérieurement.

• La prise en compte des raisonnements spontanés par les élèves eux-mêmes

Si on se place maintenant du point de vue de l'élève, apprendre la physique, c'est construire, à côté d'un savoir commun déjà structuré et opératoire, un savoir scientifique dont les modalités de construction sont différentes.

construire du
savoir scientifique,
c'est rompre
souvent avec
d'anciennes
structures de
pensée

Du point de vue opératoire, le savoir commun est en général plus rapide à mobiliser et demande moins d'efforts que le savoir scientifique. Le savoir commun faisant intervenir des relations moins complexes que celles qui sont mises en œuvre par la connaissance scientifique. Mais **le mode de structuration du savoir scientifique est souvent en rupture avec l'ancienne**. Citons à ce propos A. Kerlan ⁽²³⁾ : «*On objectera que les obstacles épistémologiques sont des exemples incontestables de l'interférence de l'ordre subjectif et de l'ordre scientifique. Mais c'est précisément ce en quoi ils constituent des obstacles. Les franchir implique nécessairement la disjonction des deux ordres. A la notion d'obstacle doit être associée celle de rupture ou de coupure épistémologique...*» Ce que résume Bachelard en : «*La science divise le sujet*».

Or si cette rupture semble nécessaire pour ancrer la nouvelle connaissance, celle-ci n'efface pas l'ancienne. **Aussi est-il nécessaire que les élèves prennent conscience de l'exis-**

(22) KERLANA., «Didactique et épistémologie : éclairages bachelardiens», ASTER, 5, *Didactique et histoire des sciences*, 1987.

(23) Voir note 22

aussi faut-il que les élèves aient conscience de leurs représentations

il faut les mettre en échec de différentes manières pour renforcer la prise de conscience

l'HST peut permettre un renforcement de type social

une confrontation des différents modèles à l'expérience est toujours nécessaire

tence de leurs raisonnements naturels pour être en mesure de leur assigner des limites au-delà desquelles ils auront à s'en défier. Pour atteindre un tel objectif, il est nécessaire :

- **dans un premier temps de déstabiliser le raisonnement naturel de l'élève en le mettant en échec ;** pour cela, nous proposons trois étapes :

- **faire prendre conscience à l'élève de son mode de raisonnement spontané** en le confrontant par exemple à celui de ses camarades qui utilisent des raisonnements différents. Ainsi il faut placer les enfants dans des situations expérimentales ou de pensée où ils pourront exprimer leurs représentations,
- **montrer à l'élève que son mode de raisonnement aboutit à des conclusions incompatibles avec l'expérience** dans certains cas,
- **lorsque cela s'y prête, essayer de délimiter les situations où son raisonnement est compatible avec l'expérience, des situations où il ne l'est pas ;**

- **dans un deuxième temps, nous proposons l'utilisation de textes historiques pour montrer aux élèves que les physiciens ayant étudié les premiers ces situations ont eu le même genre d'obstacles à surmonter** (même si les situations des élèves et des premiers physiciens ne sont pas totalement semblables). L'objectif visé par l'introduction de l'histoire des sciences est de créer une relation sciences-société qui n'est pratiquement pas envisagée actuellement. Mais principalement, l'utilisation de textes historiques vise à renforcer l'ancrage du mode de raisonnement scientifique que l'on désire faire acquérir aux élèves en leur montrant que les physiciens ont été obligés de changer leur mode de raisonnement. On peut émettre l'hypothèse que **ce renforcement de type social** (les physiciens faisant partie de la communauté scientifique) **permettra une rupture plus profonde** que celle qui s'appuie actuellement sur la confrontation avec l'expérience ;

- **dans un troisième temps, à l'aide de diverses situations expérimentales et aussi de textes historiques, mettre en place un raisonnement scientifique.** Cela ne peut avoir lieu sans l'aide du professeur qui doit servir de guide. Si on néglige cette dernière étape, le raisonnement naturel peut s'adapter et même sortir renforcé du conflit cognitif créé dans la première étape. L'histoire des sciences, là encore, permettant d'étayer, par son aspect social et institutionnel, l'ancrage dans l'esprit des élèves du modèle scientifique.

2.5. Exemple de séquence expérimentée avec des élèves : Ampère et le sens conventionnel du courant

L'extrait des Annales de physique et chimie (p. 110) montre dans quelles conditions Ampère introduit le concept de courant électrique et propose un sens conventionnel pour celui-ci.

- Problématique et stratégie d'enseignement

En 1^{er} cycle, l'introduction du sens conventionnel du courant dans les conducteurs métalliques puis celle du modèle électronique du courant posent des problèmes à un nombre important d'élèves. En effet, on constate que ces élèves ont du mal à mémoriser le sens conventionnel du courant, le confondant avec le sens du déplacement des électrons de conduction du conducteur métallique. Quelques entretiens individuels avec des élèves ont permis de cerner les principales raisons de ces difficultés.

les élèves ne comprennent pas les raisons de l'existence de deux modèles de courant dans les métaux

Les élèves ne comprennent pas les raisons du choix du sens conventionnel du courant. La plupart du temps, ce sens leur est imposé de façon dogmatique sans la moindre explication. Les expériences présentées (celle d'Ørsted avec l'aiguille aimantée ou celle où on observe le sens de rotation d'un petit moteur ou encore celle de l'électrolyse de l'eau par exemple) justifient, en partie l'hypothèse d'un courant unique (à condition de déplacer l'aiguille ou le moteur le long du circuit ou encore l'électrolyseur), mais en rien le sens particulier choisi par Ampère.

Les élèves sont perturbés par l'introduction, quelques semaines après, du **modèle électronique du courant** faisant intervenir des charges électriques élémentaires négatives se déplaçant en sens inverse du sens conventionnel. La compréhension de cette modélisation demande la connaissance préalable du modèle simplifié de l'atome et de son opérationnalisation sur quelques phénomènes qu'il permet d'expliquer.

Enfin ces deux modèles de courant unique viennent se superposer au modèle spontané de courants antagonistes qui est présent dans l'esprit de plus de la moitié des élèves de quatrième avant d'aborder ces notions. Actuellement, il n'est absolument pas tenu compte des représentations préalables des élèves dans les séquences d'enseignement traditionnelles.

Nous avons donc émis l'hypothèse que ces différents éléments créent un obstacle à l'assimilation et l'opérationnalisation par les élèves de ces deux modèles d'apparence contradictoire. Aussi, pour permettre aux enfants de mieux comprendre, accepter et rendre opératoire ces deux modèles, nous pensons qu'une articulation entre la prise de conscience de leur propre représentation, l'utilisation de quelques éléments d'HS et la réalisation de quelques expériences, est susceptible de les aider à surmonter l'obstacle précédemment décrit.

- Émergence des représentations des élèves sur le courant électrique

faire émerger les représentations des élèves

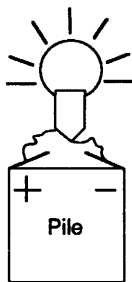
Dans un premier temps, il est indispensable de faire émerger les représentations des élèves sur le courant électrique (avant que les deux modèles ne soient abordés) dans les deux buts suivants :

- pour que le professeur puisse construire sa séquence en fonction de celles-ci

- pour que les élèves puissent prendre conscience de leur propre mode de raisonnement spontané et de celui de leurs camarades.

Pour cela, dans les classes de l'expérimentation nous avons utilisé un questionnement de type papier-crayon.

«Pour expliquer l'expérience schématisée ci-dessous, choisis la phrase qui te paraît la plus correcte :



1. Un courant circule de la borne + de la pile vers l'ampoule.
2. Un courant circule de la borne + de la pile vers la borne - en passant par l'ampoule.
3. Deux courants circulent en partant l'un de la borne +, l'autre de la borne - de la pile. Ils se rencontrent dans l'ampoule.»

leur faire prendre conscience que leurs camarades n'ont pas forcément la même représentation qu'eux

Avec les élèves de deux classes de quatrième, environ les deux tiers d'entre eux choisissent le modèle des courants antagonistes et un tiers celui du courant unique circulant d'une borne à l'autre de la pile. Le modèle unifilaire avec arrêt du courant dans l'ampoule n'est pratiquement pas choisi par les élèves.

Cette étude, dans un deuxième temps, est réinvestie en classe pour faire prendre conscience aux élèves que leur propre mode de raisonnement n'est pas isolé dans la classe, qu'ils sont plusieurs à penser de la même manière, mais que d'autres n'ont pas le même modèle explicatif spontané qu'eux.

- Utilisation du texte d'Ampère et introduction du sens conventionnel du courant

Ce texte permet de faire prendre conscience aux élèves que les physiciens du début du 19^e siècle expliquaient ce type de phénomène sensiblement comme eux et de leur présenter la raison du choix du sens conventionnel par Ampère. A propos de la comparaison du modèle des courants antagonistes des élèves et des premiers physiciens, on pourra se reporter à l'analyse comparative citée plus haut (p. 111).

Ce texte est difficile à comprendre pour de jeunes élèves et nécessite de prendre certaines précautions. Deux sortes de difficultés ont été rencontrées par les élèves :

le texte d'Ampère permet aux élèves de prendre conscience que les physiciens du 19^e siècle avaient des idées assez semblables

- Du point de vue du vocabulaire :

- l'action électromotrice : action de mise en mouvement de l'électricité par la pile ;
- Corps électromoteurs : corps pouvant provoquer une action électromotrice : pile par exemple à l'époque ;
- Confusion entre direction et sens dans le texte : les élèves font eux-mêmes cette confusion ;
- Oxygène : oxygène (orthographe différente au début du 19^e siècle).

- Du point de vue des tournures de phrases : la deuxième partie du texte n'est constituée que par une phrase compliquée et très longue. Il est nécessaire de la couper en plusieurs parties limitées par les points-virgules. En absence de manipulation et de schématisation cette partie du texte est incompréhensible par de jeunes élèves.

Dans l'expérimentation, nous avons partagé le texte en deux parties.

La première partie, traitée collectivement, permet de faire trouver par les élèves qu'Ampère propose une explication assez semblable à celles d'un grand nombre d'élèves de la classe. Cette partie est assez simple (à part quelques mots à expliquer) et la mise en relation entre leurs représentation et l'explication d'Ampère est facilement réalisée par les élèves.

La deuxième partie qui explique les raisons du choix par Ampère d'un sens conventionnel pour le courant est aussi sans grande difficulté pour les élèves. Par contre, la fin de cette partie est plus délicate en raison de la longueur de la phrase dans laquelle Ampère définit le sens conventionnel du courant d'une part dans la pile et d'autre part dans le conducteur réunissant ses bornes. Pour permettre la compréhension et donc la détermination par les élèves eux-mêmes du sens conventionnel du courant, sa reformulation en termes plus simples, il est indispensable de faire **réaliser l'expérience** par les élèves et **de la faire schématiser** en indiquant le sens conventionnel dans la pile et dans le reste du circuit. Il est intéressant alors de faire porter les signes des deux bornes de la pile sur le schéma, pour permettre ensuite aux élèves de trouver plus facilement une formulation plus simple à mémoriser.

En prenant ces précautions, les tâches d'expérimentation, de schématisation et de reformulation du sens conventionnel choisi par Ampère ne posent pratiquement pas de difficultés à des élèves de quatrième.

- Expériences complémentaires pour montrer que le modèle des courants antagonistes n'est pas opératoire pour expliquer certains phénomènes

A ce moment de la séquence d'enseignement, il est important de faire manipuler les élèves pour qu'ils s'aperçoivent par eux-mêmes que le modèle des courants antagonistes ne permet pas de comprendre certaines observations expérimentales.

pour une bonne compréhension du texte, la réalisation de l'expérience décrite et sa schématisation sont nécessaires

nouvelles confrontations des modèles à des expériences

Nous avons fait réaliser par les élèves les manipulations suivantes :

1 - Dans un circuit constitué d'un générateur et d'une ampoule adaptée, nous leur avons demandé de placer à différents endroits du circuit une aiguille aimantée sous le fil et de noter le sens de déviation de l'aiguille (en circuit ouvert, le fil est placé parallèlement à l'aiguille aimantée).

2 - Dans un circuit similaire, nous leur avons demandé de placer un petit moteur d'un côté puis de l'autre de l'ampoule et de noter le sens de rotation du moteur.

3 - Enfin de recommencer ces expériences en intervertissant les connexions des fils sur les bornes du générateur.

A la suite de cette phase d'observation, il a été demandé de dire quel(s) modèle(s) des deux présentés (des courants antagonistes et du courant unique) permet(tent) de rendre compte des observations faites dans :

- la manipulation 1
- la manipulation 2
- la manipulation 3 par rapport successivement aux manipulations 1 et 2.

résultats et
difficultés
rencontrées par
les élèves

En ce qui concerne les observations 1, 2 et 3 la quasi-totalité des élèves ont réalisé des observations correctes (à noter que quelques élèves ont eu du mal à respecter les consignes de la première manipulation, en particulier à placer le fil du circuit ouvert parallèle à l'aiguille).

Pour l'interprétation de ces observations avec l'un ou l'autre des modèles disponibles, les élèves ont éprouvé quelques difficultés en raison du passage du niveau phénoménologique à un niveau d'abstraction. Cependant, environ deux élèves sur trois ont bien exprimé que le modèle des courants antagonistes leur semblait inadapté pour expliquer ces phénomènes. Le modèle du courant unique leur permet de comprendre pourquoi l'aiguille aimantée ou le moteur tournent dans le même sens tout le long du circuit.

Par contre les comparaisons entre la manipulation 3 et les manipulations 1 et 2 et leur interprétation possible avec les deux modèles n'ont été réussies que par un peu moins d'un élève sur deux. On peut émettre l'hypothèse que la tâche intellectuelle demandée aux élèves est, dans ce cas, supérieure aux capacités moyennes de ces derniers, à ce niveau d'âge, en raison de la nécessité de mise en relation comparative de trois observations et la prise en compte successive de deux modèles abstraits pour les interpréter.

unanimité sur
l'arbitraire du
choix d'Ampère

Après une phase de récapitulation collective dans laquelle il a été montré que seul le modèle du courant unique permet de comprendre l'ensemble de ces observations, il a été demandé aux élèves si ces diverses observations prouvent le sens du courant unique décidé par Ampère ? Les réponses ont été pratiquement unanimes pour indiquer que ces expériences ne permettent pas de savoir dans quel sens se déplace le courant unique. Il a été insisté alors sur l'aspect arbitraire de ce choix effectué par Ampère.

- Introduction du modèle du courant électrique dans les conducteurs métalliques actuellement accepté par la communauté scientifique

passer
rapidement au
modèle
électronique

Pour éviter que le modèle des courants antagonistes ne soit renforcé par le texte d'Ampère chez les élèves qui l'avaient exprimé et ne s'installe chez ceux qui ne l'avaient pas, il est nécessaire d'introduire rapidement ensuite le modèle électronique. Cette approche nécessite d'abord comme pré-requis la connaissance du modèle simplifié de l'atome. Il est conseillé de situer dans l'histoire (fin du 19^e siècle) cette hypothèse électronique de la nature du courant dans les conducteurs métalliques.

- Évaluations réalisées de la séquence

évaluation dans
les semaines qui
ont suivi...

Par des entretiens individuels réalisés dans les semaines qui ont suivi la séquence, la plupart des élèves interrogés ont cité Ampère. Ils ont ajouté qu'il pensait à l'existence de courants antagonistes mais que pour des raisons pratiques il a proposé un courant unique avec un sens fixé arbitrairement qu'ils connaissaient tous. Ils ont été marqués par le fait que de nombreux élèves avaient la même idée initiale qu'Ampère et qui s'est avérée fautive ensuite.

... positive...

Plus de la moitié des élèves ont dit spontanément avoir apprécié la présentation d'une connaissance en physique associée au savant qui l'a émise pour la première fois. Quelques-uns ont dit mieux s'en souvenir.

Ainsi, l'utilisation ponctuelle de l'HS en articulation avec des manipulations peut permettre de motiver et renforcer davantage l'ancrage de connaissances dont l'acquisition posait problème auparavant.

... de même un
an après

Un an après la séquence, la question, qui avait été posée pour faire apparaître les représentations des élèves, leur a été présentée. Tous les élèves ont choisi le modèle du courant unique circulant d'une borne à l'autre de la pile. A la question, quel est ce sens, 90 % des élèves ont donné la bonne réponse (certains rajoutant le sens des électrons de conduction dans les conducteurs métalliques). Sur des classes n'ayant pas participé à l'expérimentation, un peu moins d'un élève sur deux se souvient du sens conventionnel du courant un an plus tard et environ 20 % des élèves choisissent encore le modèle des courants antagonistes.

CONCLUSION

A l'heure où toutes les instances au niveau national (mais aussi de nombreux pays) s'interrogent sur les finalités de l'enseignement scientifique et les moyens à mettre en œuvre pour augmenter le flux d'élèves scientifiques et techniques dont notre société a besoin, la réflexion sur un enseignement de l'HST peut apporter certains éléments de réponse.

D'une part, un enseignement de l'HST dans la formation initiale des professeurs peut permettre à ces derniers d'acquérir une **véritable culture scientifique** en les confrontant aux aspects philosophiques mais aussi économiques, politiques et sociaux de la science et de la technique. Cette possibilité de prise de recul par rapport au savoir disciplinaire reçu ne peut être que bénéfique. C'est pour eux l'occasion de remettre en cause des représentations sociales sur la science et de s'interroger sur les obstacles rencontrés par les chercheurs lors de l'élaboration du savoir scientifique.

D'autre part, l'introduction d'un enseignement d'HST dans les collèges et lycées présente un double intérêt pour l'enseignement scientifique.

- Pour les professeurs, il peut être l'occasion d'une **réflexion sur leurs pratiques pédagogiques** en développant l'ouverture de leur enseignement disciplinaire vers les disciplines voisines. En effet, un enseignement de l'HST tel qu'il a été présenté ne peut être, en ce qui concerne l'aspect culturel, que pluridisciplinaire. Par ailleurs, il peut inciter les professeurs, à propos de certains obstacles didactiques majeurs, à utiliser un modèle pédagogique constructiviste prenant en compte les représentations des élèves.

- Pour les élèves, le contact même partiel avec l'HST peut être l'occasion de **modifier un certain nombre de leurs représentations sur la science en général mais aussi en ce qui concerne des points particuliers du savoir scientifique qu'ils ont à construire**. Cette double approche ayant pour but de construire des éléments d'une réelle culture scientifique ouverte vers l'histoire des idées mais aussi les relations science-technique et société. Elle est souvent une source de motivation vis-à-vis de l'enseignement des sciences. C'est aussi un élément pour lutter contre *«l'insularisation des savoirs liés à la division en disciplines juxtaposées»* ⁽²⁴⁾ mais au-delà de la modification des idées des élèves sur la science, **un tel enseignement peut amener l'élève à réfléchir sur ses représentations spontanées et son mode de raisonnement intuitif**. Cette orientation métacognitive des apprentissages, liée à l'utilisation de l'HST, pourrait donner un caractère innovant à cet enseignement. Malgré toutes les réserves spontanément émises sur l'introduction de l'HST par les scientifiques et les enseignants des sciences, les orientations culturelles et métacognitives méritent d'être des axes de recherches en didactique des sciences dans les prochaines années.

Pierre FILLON
Collège Charles Péguy, Paris 19^e
Équipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP

(24) *Rapport de l'académie des sciences pour l'histoire des sciences et des techniques dans l'enseignement scientifique*, Institut de France, Académie des sciences, 1984.