

L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES EXPÉRIMENTALES EST-IL VRAIMENT INDUCTIVISTE ?

Simone Bomchil
Bernard Darley

Il existe un point de vue, largement répandu, selon lequel l'enseignement des sciences expérimentales en général, et celui de la biologie en particulier, serait fortement imprégné d'inductivisme et de positivisme. Notre propos est de montrer que l'analyse des conceptions qu'ont (ou sont censés avoir) les enseignants de la démarche expérimentale ne peut faire l'économie d'une remise à plat des paradigmes sur lesquels elle se fonde. Une analyse de ces deux termes issus de l'épistémologie, inductivisme et positivisme, permettra de juger de la pertinence de leur utilisation pour décrire ou qualifier les enseignants et l'enseignement des sciences expérimentales. Nous proposerons ensuite un cadre d'analyse dans lequel les principales contraintes caractérisant ce type d'enseignement seront décrites et intégrées dans une approche systémique de ces situations. En nous appuyant enfin sur des données relevées lors de l'observation d'une séquence d'enseignement mettant en scène une résolution "expérimentale" de problème, nous tenterons d'illustrer comment l'enseignement des sciences expérimentales, loin de l'inductivisme "naïf" souvent décrit, peut être réinterprété dans un cadre théorique inspiré (parfois librement) de la logique dogmatique que Francis Bacon dénonçait chez les scolastiques il y a plus de trois siècles.

réinterroger
les paradigmes

Sachant, comme le rappelle G. Gohau (1992), que l'induction pose de nouvelles vérités mais sans que ces dernières puissent prétendre à la certitude, est-il imaginable qu'un enseignement des sciences qui dispense des savoirs généralement présentés aux élèves comme certains puisse s'inspirer d'une épistémologie de l'incertitude ? Peut-on qualifier de positivistes des enseignants et un enseignement qui fondent les savoirs sur l'observation d'objets bien réels alors que le positivisme d'A. Comte nie cette réalité en soi ? L'épistémologie sous-jacente à l'enseignement des sciences expérimentales n'est-elle que le reflet de l'épistémologie des enseignants ou faut-il y voir une résultante de contraintes multiples insérées dans un principe d'économie ?

Voici quelques-unes des questions que nous nous proposons de discuter et que nous tenterons d'illustrer par un exemple d'analyse de séquence d'enseignement ; l'objectif de notre propos étant de montrer que les contraintes auxquelles tout enseignant est soumis pèsent très lourdement sur les "choix" épistémologiques qui semblent caractériser l'enseignement expérimental et concourent à la mise en

place d'un modèle qui sera d'autant plus résistant qu'il est particulièrement bien structuré.

1. L'INDUCTIVISME ÉPISTÉMOLOGIQUE

Pour introduire cet article, nous aimerions commencer par faire une mise au point sur une certaine idée de l'induction dite "naïve" popularisée en didactique principalement par les références faites à Karl Popper (1973) et Alan Chalmers (1976).

Popper définit l'induction comme "*une inférence qui passe d'énoncés singuliers tels que les comptes rendus d'observation ou d'expérience, à des énoncés universels, tels des hypothèses ou des théories*" (K. Popper, 1973, p. 23). L'observation, origine des énoncés singuliers, doit donc être première et indépendante de toute théorie préalable.

Popper et Chalmers réfutent le caractère opératoire de l'induction comme pratique susceptible de faire évoluer la science. Leur argument majeur est l'impossibilité constitutionnelle de cette pratique à proposer des énoncés universels. En effet, si le croisement de nombreuses observations permet de faire apparaître une régularité quant à l'apparition d'un phénomène donné – la blancheur du plumage des cygnes pour reprendre l'exemple favori de Popper, ou celui des corbeaux noirs pour Chalmers (1) – elle interdit, par sa définition même, de prétendre que tous les cygnes sont blancs tant que l'on n'a pas constaté le fait jusqu'au dernier cygne existant. Compte tenu des mutations toujours possibles, la loi ne sera définitivement fondée qu'à la mort du dernier cygne. "Tous les cygnes étaient blancs" est la seule loi que l'on pourrait tirer d'une telle pratique d'investigation. La pratique elle-même est dénoncée comme fallacieuse ; une observation "pure", détachée de toute référence à un modèle théorique, n'aurait aucun sens. Seule l'existence préalable d'un modèle théorique peut intégrer l'observation dans son domaine de validité et la rendre porteuse d'informations.

Voilà, très brièvement résumé, l'essentiel de la présentation de l'inductivisme faite par ces deux auteurs.

Lorsque l'on parle d'induction il est fait, en général, appel aux mânes de Francis Bacon, d'Auguste Comte et de Claude Bernard. Or, si ces trois auteurs (dont il faudrait replacer la

l'induction naïve
selon K. Popper et
A. Chalmers

-
- (1) On peut, à cette occasion, s'interroger sur le choix de ces exemples de la part de physiiciens. Tous les cygnes sont-ils blancs ? Tous les corbeaux sont-ils noirs ? N'y avait-il que la biologie pour leur offrir d'aussi mauvais exemples ? Si la blancheur de tous les cygnes ou la noirceur de tous les corbeaux (et non des cygnes ou des corbeaux) est un problème scientifique pour K. Popper ou A. Chalmers, il n'en est certainement pas un pour les biologistes ; tout au plus y verra-t-on un caractère (parmi d'autres) pour identifier l'espèce désignée. De là à en tirer un modèle ou une théorie...

pensée dans son contexte historique) font effectivement référence à l'induction, aucun d'entre eux ne la définit d'une manière aussi caricaturale.

Bacon, bien au contraire, dénonce "cette sorte d'induction qui procède par voie de simple énumération (qui) n'est qu'une méthode d'enfants, qui ne mène qu'à des conclusions précaires, et qui court les plus grands risques de la part du premier exemple contradictoire qui peut se présenter" pour, à l'inverse, vanter "l'induction vraiment utile dans l'invention ou la démonstration des sciences et des arts (qui) fait un choix parmi les observations et les expériences, dégageant de la masse, par des exclusions et des réjections convenables, les faits non concluants ; puis après avoir établi un nombre suffisant de propositions, elle s'arrête enfin aux affirmatives et s'en tient à ces dernières". (*Novum Organum* in R. Blanché p. 41). Bacon, en pourfendeur du syllogisme, ne pouvait dire explicitement qu'un modèle théorique devait guider l'observateur, mais quoi d'autre peut lui permettre de faire ces choix qui "dégagent de la masse" les informations pertinentes ?

l'induction
ambiguë
de F. Bacon

La pensée d'A. Comte est trop souvent réduite à sa définition de la science positive : "partant de faits observables définis relativement à l'observateur, les lois naturelles sont établies dans la constante subordination de l'imagination à l'observation" (1835). Définition apparemment limpide qui entérine le primat de l'observation sur l'imagination. Mais qui se complique quelque peu lorsque Comte ajoute : "Si d'un côté toute théorie positive doit nécessairement être fondée sur des observations, il est également sensible, d'un autre côté, que, pour se livrer à l'observation, notre esprit a besoin d'une théorie quelconque. Si en contemplant les phénomènes nous ne les rattachions point immédiatement à quelques principes, non seulement il nous serait impossible de combiner ces observations isolées, et, par conséquent, d'en tirer aucun fruit, mais nous serions même entièrement incapables de les retenir ; et, le plus souvent, les faits resteraient inaperçus à nos yeux." (A. Comte, 1835, p. 32).

Claude Bernard a, lui aussi, une définition intéressante de l'induction : "On définit l'induction en disant que c'est un procédé de l'esprit qui va du particulier au général (2), tandis que la déduction serait le procédé inverse qui irait du général au particulier (3). Je n'ai certainement pas la prétention d'entrer dans une discussion philosophique qui serait ici hors de sa place et de ma compétence ; seulement, en qualité d'expérimentateur, je me bornerai à dire que dans la pratique, il me paraît bien difficile de justifier cette distinction et de séparer nettement l'induction de la déduction. Si l'esprit de l'expérimentateur procède ordinairement en partant d'observations particulières pour remonter à des principes, à des lois ou à

-
- (2) Raisonnement qui est défini, dit-il plus loin, comme propre aux sciences expérimentales.
 (3) Raisonnement qui serait, lui, propre aux mathématiques.

C. Bernard refuse
la distinction
entre induction
et déduction

des propositions générales, il procède aussi nécessairement de ces mêmes propositions générales ou lois pour aller à des faits particuliers qu'il déduit logiquement de ces principes. Seulement quand la certitude du principe n'est pas absolue, il s'agit toujours d'une déduction provisoire qui réclame la vérification expérimentale (4). (...) Les principes ou les théories qui servent de base à une science, quelle qu'elle soit, ne sont pas tombés du ciel ; il a fallu nécessairement y arriver par un raisonnement investigatif, inductif ou interrogatif comme on voudra l'appeler. (...) l'induction a dû être la forme de raisonnement primitive et générale, et les idées que les philosophes et les savants prennent constamment pour des idées a priori, ne sont au fond que des idées a posteriori. (...) De tout cela je conclurai que l'induction et la déduction appartiennent à toutes les sciences. Je ne crois pas que l'induction et la déduction constituent réellement deux formes de raisonnement essentiellement distinctes." (C. Bernard, 1865, p. 78-81).

Il ressort de ces citations, comme de l'ensemble des textes que nous avons pu lire concernant les principaux auteurs scientifiques se réclamant de l'induction, ou catalogués comme tels, que nulle part nous n'avons trouvé de définition aussi simpliste que celles données par A. Chalmers et K. Popper. On est donc en droit de s'interroger sur la pertinence qu'il y a à faire référence à un modèle que personne ne revendique et qui ne semble curieusement exister qu'au travers du procès qui lui est fait.

2. L'ENSEIGNANT DE SCIENCES EXPÉRIMENTALES : POSITIVISTE ET INDUCTIVISTE ?

A.Comte
conçoit
l'inductivisme
dans une vision
idéaliste du
monde

Le qualificatif de "positiviste", souvent employé comme synonyme "d'inductiviste", est fréquemment donné aux enseignants de sciences expérimentales pour caractériser leur conception de la science (É. Orlandi 1991, G. Robardet 1995). Si l'on donne à ce terme celui que souhaitait en donner son créateur, A. Comte, il faudrait alors considérer que les enseignants des sciences expérimentales ont une vision idéaliste de la science. A. Comte définit en effet le passage de l'esprit métaphysique à l'esprit scientifique (ou positif) comme le passage de l'idée d'un monde qui existe en soi, d'un monde que l'on peut, à la fois, connaître et appréhender (vision réaliste du monde), à l'idée d'un monde qui n'a d'autre réalité que la constance des relations qui lient les phénomènes entre eux (les lois naturelles), toute autre spéculation relevant de la métaphysique (A. Comte, 1835). Le positivisme, tel que le définit A. Comte, est donc indissociable d'une vision idéaliste d'un monde qui n'a pas d'exis-

(4) On n'est pas très éloigné, ici, de la conjecture "popperienne".

inductivisme ne
rime pas toujours
avec
positivisme...

tence en soi en dehors de celle que nos sens veulent bien lui attribuer (je vois cet arbre, mais existe-t-il "réellement" en dehors de la perception que j'en ai ?). Or d'autres analyses (J. Désautels 1989 ; B. Darley, 1993 ; G. Robardet 1995) décrivent ces mêmes enseignants comme plutôt réalistes (5), en accord avec l'idée que c'est bien l'objet étudié qui fonde la connaissance et rejetant vivement l'idée que c'est, selon les canons même de l'idéalisme positiviste, la connaissance qui fonde l'objet. Et si, comme l'écrit J. Largeaut (1984 a et b) *"réalisme et idéalisme s'opposent terme à terme, l'un affirmant ce que l'autre nie"*, le qualificatif de positiviste paraît alors bien mal adapté pour désigner la vision qu'ont les enseignants des sciences expérimentales.

Une autre des caractéristiques du positivisme citée par S. Johsua et J.-J. Dupin (1993) est de fonder l'objet par sa mesure. Là encore cette définition prend du sens dans une vision idéaliste de l'objet qui n'a pas d'existence en soi et que l'on ne peut définir que par ses caractéristiques accessibles aux sens, dont la mesure. Mais dans l'optique réaliste qui serait celle des enseignants, la mesure ne fonde pas l'objet puisque ce dernier existe en soi ; la mesure va donc caractériser l'objet (et non le fonder) et permettre une appréhension quantitative des phénomènes étudiés. On peut donc mesurer des objets et utiliser ces mesures sans pour autant s'inscrire dans un modèle positiviste de la science.

... surtout
dans une
vision réaliste
du monde

Si positivisme et inductivisme sont compatibles dans une vision empiriste-idéaliste de la science (les savoirs se construisent à partir des observations mais ne sont que des inférences "fonctionnelles" qui permettent d'expliquer le monde mais sans jamais le connaître réellement), par contre positivisme et inductivisme deviennent incompatibles si "l'inducteur" a, du monde, une vision réaliste (les savoirs sont inférés d'observations faites sur des objets bien réels et conduisent à la connaissance du monde).

Que les enseignants aient une conception de la construction des connaissances dans les sciences expérimentales où l'induction joue un rôle important semble assez bien ressortir des enquêtes citées précédemment. Mais une induction empirique, fortement imprégnée de réalisme qui n'aurait donc pas grand-chose à voir avec le positivisme et sa vision idéaliste du monde, et probablement pas aussi naïve que celle décrite par K. Popper et A. Chalmers.

(5) Ce terme de "plutôt" met un bémol à un qualificatif qui ne s'applique pas à la totalité des cas ; certains enseignants pouvant apporter des réponses apparemment contradictoires faisant qu'on peut les classer, en fonction des items proposés, dans l'une ou l'autre de ces catégories (voir B. Darley 1993).

3. L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES EXPÉRIMENTALES EST-IL INDUCTIVISTE ?

Des enseignants pour lesquels l'induction empirique est à la source des connaissances font-ils pour autant un enseignement dont les modalités pourraient être qualifiées "d'inductivistes" ?

Commençons par faire comme si la définition de l'induction proposée par Popper était pertinente et voyons comment elle peut s'appliquer à la pratique enseignante, à défaut de pouvoir l'appliquer à la construction des savoirs scientifiques. Pour mettre sa pratique en accord avec sa conception de la construction de ces savoirs, un enseignant "inductiviste" devrait procéder, avec ses élèves, à un nombre d'observations suffisamment conséquent pour que ces derniers puissent en inférer les prémices du modèle en jeu dans l'apprentissage. Les conclusions des cours de sciences devraient alors être rédigées sous la forme d'une induction généralisante du type suivant : "le phénomène observé s'étant reproduit à l'identique à chacune des n observations effectuées, on peut en inférer que la relation qui les relie est la suivante...". Nous n'avons pas souvenir d'avoir vu, ni jamais rien lu à propos de telles pratiques d'enseignement.

l'induction naïve
ne s'applique
pas à
l'enseignement
des sciences

Peut-on alors, dans les limites de cette définition, définir comme inductive la pratique (plus courante) consistant à proposer aux élèves une observation ou une expérimentation "prototypique" (S. Johsua et J.-J. Dupin, 1993, p. 217) dont on va immédiatement inférer le modèle qui aura, la plupart du temps, valeur de savoir universel ? L'induction se réduirait-elle à tirer une inférence à partir d'un événement singulier ? Si la réponse est oui alors nous ne sommes plus dans le modèle Popper-Chalmers.

Samuel Johsua et Jean-Jacques Dupin en proposent une redéfinition, réduisant l'induction à la procédure pédagogique qui permet "*de passer 'le plus vite possible' des 'faits' à 'la loi', en s'appuyant sur la 'rigueur', sur 'l'observation' et surtout sur les 'mesures'*" (S. Johsua et J.-J. Dupin, 1993, p. 215). Si l'induction consiste à partir des faits pour argumenter l'inférence, la procédure décrite par ces deux auteurs en fait incontestablement partie. Mais si l'inférence est rendue crédible par la référence aux faits, peut-on cependant dire qu'elle permet de dépasser le cas singulier et atteindre une certaine universalité autrement que par un ajout dogmatique du type : "puisque j'observe ceci et que je considère que c'est représentatif de l'ensemble de la classe des phénomènes de ce type, j'en conclus que...". On a alors affaire à une procédure qui est essentiellement justifiée par une inférence déductive très classique, au moins en biologie : "je vois que, or je sais que, donc...". Déduction dont on peut contester (et dont on contestera) la construction mais qui, en tout état de cause, est au moins aussi éloi-

la déduction
revisitée par
l'empirisme

gnée du raisonnement inductif qu'elle peut l'être de la logique formelle appliquée dans toute sa rigueur.

4. RÉANALYSER LA PRATIQUE ENSEIGNANTE POUR LA REDÉFINIR

une pratique plus complexe qu'elle ne paraît

Si ces qualificatifs "d'inductivistes" et de "positivistes" ont eu le mérite de permettre de poser les bases d'une telle analyse, ils nous paraissent aujourd'hui plus contraignants qu'heuristiques. Cette querelle sur les mots peut paraître stérile. Nous pensons, au contraire, qu'elle est représentative de la difficulté à désigner une pratique plus complexe qu'elle ne paraît de prime abord. Le problème, au-delà de la simple description de cette pratique, est de comprendre ce qui peut l'expliquer (ce qui permettra peut-être de la nommer) et d'analyser les conséquences qu'elle peut avoir sur la représentation que se font les élèves de la construction des connaissances en sciences expérimentales. Après avoir tant brandi le flambeau de la contestation il ne nous reste plus qu'à faire des propositions d'analyse qui, nous l'espérons autant que nous le redoutons, seront elles-mêmes vivement contestées.

L'hypothèse que nous proposons est la suivante : comme toute conception celle des enseignants à propos de la construction des savoirs scientifiques repose à la fois sur la formation qu'ils ont eue et qu'ils retransposent et sur un principe d'économie (elle donne satisfaction dans son utilisation courante et reste peu coûteuse tant du point de vue praxéologique que du point de vue cognitif). Si l'idée, attrayante à plus d'un titre, que les savoirs se fondent sur les faits est admise comme principe de fonctionnement et renforcée par nombre de vulgarisations de l'histoire des sciences alors elle devrait transparaître dans la pratique enseignante.

Comme les contraintes institutionnelles auxquelles est soumis l'enseignant ne lui permettent pas de multiplier les activités productrices de faits, ce dernier va utiliser, comme le décrivent S. Johsua et J.-J. Dupin (1993), un fait ou une situation productrice de faits pouvant être mis en relation directe avec l'énoncé du savoir. L'apparence de rigueur dans l'inférence produite est donnée par une transposition du syllogisme sous la forme de l'aphorisme suivant : "je vois que, or je sais que, donc je conclus que...".

un enseignement logico-dogmatique

Ainsi, tout en privilégiant l'énoncé du fait (je vois que) l'enseignant donne une forme très "déductive" à son raisonnement, renforçant ainsi son apparente rationalité. Sûr de son savoir (je sais que) et de la qualité de son observation, la conclusion ne peut que s'imposer. Il en sera de même pour les élèves qui prendront conscience, à leur tour, que les faits fondent bien le savoir puisqu'ils constatent bien les pre-

miers sans pouvoir remettre en cause ce dernier. Procédure où l'induction laisse place à une logique de déduction. Ce qui nous rapproche davantage de la logique dogmatique des scolastiques que de l'induction de F. Bacon. On en arrive ainsi à une procédure de type "moule en creux" où pour transmettre aux élèves une épistémologie fortement imprégnée par l'empirisme et l'induction on a recours à une pratique fondée sur le syllogisme et le dogmatisme.

une erreur de
raisonnement

Le vice du raisonnement vient, bien entendu, de la permutation entre la mineure et la majeure. Dans l'exemple classique du syllogisme, "*tous les hommes sont mortels*" est la majeure *M*. alors que la suivante "*or Socrate est un homme*" est la mineure *m*. Sachant *M*. et constatant *m*. j'applique la règle contenue dans *M*. à *m*. et je peux conclure que Socrate est mortel. Dans la règle de raisonnement citée plus haut "je vois que" prend la place de la majeure (et donc son rôle de primat) alors qu'elle n'est que la mineure ; la majeure étant "je sais que". Mais pour prendre clairement conscience des conséquences de cette inversion il faut être persuadé du fait que l'observation (je vois que) ne prend du sens qu'à l'intérieur des savoirs déjà existants (je sais que). "Je sais que, or je vois que, donc..." prend alors une tout autre signification. Plus qu'une induction molle c'est davantage une impression de déduction dure (à l'image de celle censée être mise en œuvre en mathématique) qui se dégage des enseignements de biologie que nous avons été amenés à observer. Ce type d'enseignement se renforce par le principe d'économie évoqué plus haut. C'est, compte tenu des diverses contraintes identifiables celui qui semble permettre de répondre au mieux à l'idée que se font les enseignants de la construction des savoirs scientifiques. Ce sont ces contraintes que nous allons essayer d'identifier et dont nous tenterons de déterminer quel pourrait être leur rôle dans l'orientation épistémologique d'une séquence expérimentale. Analyse que nous illustrerons par un exemple de séquence qui nous paraît représentatif de la manière de procéder de la majorité des enseignants que nous avons été conduits à observer dans leurs classes.

5. ANALYSE DU CONTEXTE ET ÉNONCÉ DES HYPOTHÈSES À PROPOS DU FONCTIONNEMENT DES ENSEIGNANTS DANS LEURS CLASSES

Comme toute transposition didactique, celle de la démarche scientifique doit tenir compte des caractéristiques de son milieu d'origine et des contraintes du milieu dans lequel elle sera transposée.

Dans son milieu d'origine, celui de la recherche, la démarche scientifique présente trois caractéristiques fortes :

- le temps nécessaire à son élaboration n'est généralement pas compté ;
- le chercheur qui l'élabore n'aura à l'exposer qu'à des pairs pour lesquels le contexte théorique qui lui donne sens est immédiatement mobilisable ;
- c'est une démarche de résolution de problèmes ; le chercheur propose des solutions qui seront, ou non, élevées au rang de savoirs par la communauté.

L'enseignant qui devra transposer cette démarche va se trouver confronté à des contraintes très différentes.

C1. L'expérience personnelle : les enseignants des collèges et lycées n'ont qu'exceptionnellement une expérience personnelle de la recherche scientifique. Comme ils n'ont, par ailleurs, aucune formation à l'épistémologie de leur discipline, ils sont contraints d'enseigner une démarche qu'ils ne connaissent qu'au travers de leur propre expérience de travaux pratiques universitaires. C'est ce que F. Ruel appelle "*leur propre histoire sociocognitive*" (F. Ruel et al., 1997).

C2. Les contraintes institutionnelles : ou, pour faire plus simple, les contraintes liées au respect des Instructions Officielles (programmes et compléments). Soumis à vérification de la part des corps d'inspection, le travail de l'enseignant ne pourra pas diverger des I.O. au-delà d'une distance "raisonnable". Une des constantes de ce même travail sera donc que l'on doit pouvoir y trouver des références explicites à ces I.O. Et les références fréquentes à "l'observation" que l'on trouve dans les programmes de sciences de la vie et de la terre ne peuvent que renforcer l'enseignant dans l'importance qu'il accorde à l'empirisme comme pratique heuristique.

C3. Le contexte scientifique : lorsqu'il souhaite problématiser un enseignement, l'enseignant ne dispose que du concept et jamais (ou bien de manière très anecdotique) de la problématique originale qui a fondé le travail et conduisant à l'énoncé du savoir qu'il doit proposer à ses élèves. C'est donc à partir des réponses plusieurs fois reformulées qu'il doit imaginer un problème qui pourrait en être le point d'origine. L'enseignant dispose des réponses et doit en élaborer les problématiques censées leur donner sens. Sans aucune implication dans l'élaboration de ces savoirs qui lui ont été transmis par des "maîtres", l'enseignant ne sera pas plus enclin à les contester que ne le seront ses élèves lorsqu'il jouera, à son tour, le rôle de maître.

C4. Le temps : le temps du chercheur et le temps de l'enseignant ne sont en rien comparables. Outre le calendrier des programmes qui contraint l'enseignant tout au long de l'année, son temps avec les élèves est aussi contraint par le découpage de l'emploi du temps. Une "manip" doit donc impérativement tenir dans un laps de temps allant d'une à trois heures, au terme desquelles l'élève doit être remis en liberté. C'est, très rapidement exposé, la contrainte de pro-

des contraintes multiples...

grammabilité définie par Yves Chevallard (1991). Cette contrainte va donc l'amener à restreindre le nombre d'exemples qui pourraient légitimer le savoir qu'il a à transmettre pour n'en choisir qu'un et en faire un cas d'espèce.

C5. Les destinataires : on a vu que dans le monde de la recherche les destinataires de la démarche sont des pairs ; ce qui est loin d'être le cas pour l'enseignant du second degré. Les élèves devront être sensibilisés puis initiés au contexte qui donnera sens à la démarche mise en place par l'enseignant. Ce dernier sera dans une position d'autorité suprême qui n'autorisera pas les élèves (même si l'enseignant les sollicite) à porter un jugement critique de fond sur la démarche proposée. C'est toute la difficulté inhérente à la "dévolution" (G. Brousseau, 1986) ou à la "proposition" (S. Johsua et J.-J. Dupin, 1993) du problème. Le temps manquant pour rendre explicite toutes les facettes du problème et les implicites ne pouvant être décodés par les élèves, ces derniers seront contraints d'accepter comme allant de soi un certain nombre de propositions ("on ne peut pas tout redémontrer").

C6. Le statut social des sciences expérimentales : de par leur objet qui est de rendre accessible le monde qui nous entoure, les sciences expérimentales se doivent de s'ancrer dans le concret pour être crédibles auprès des élèves. Dans un concret bien présent que l'on peut voir et toucher. Je veux vous expliquer comment fonctionne un végétal chlorophyllien. Je commence par vous en apporter un sur la table. Un fondement réaliste et une tentation empirique forte pourraient être les caractéristiques premières de l'enseignement des sciences expérimentales. Montrer pour être crédible, puisque la prétention est d'expliquer ce que l'on peut "toucher". Montrer aussi pour se démarquer de l'abstraction des mathématiques. Mais dans cette concurrence avec les sciences exactes, la crédibilité des sciences expérimentales passe également par leur capacité à produire des résultats conformes aux attentes ou aux modèles canoniques. Leur tendance à mimer les sciences exactes dans leur capacité à produire des constantes, fût-ce au prix d'un dévoiement de la pratique expérimentale, pourrait être leur caractéristique seconde. Caractéristique qui se traduira par une utilisation exagérée, et parfois (souvent ?) abusive de la logique formelle en guise d'argument d'autorité, par une tendance à fermer des problèmes ouverts par nature, ainsi que par une rigueur implacable dans la construction de situations entièrement tendue vers un seul but : obtenir les "bons résultats".

C7. L'évaluation des élèves : pas facile d'évaluer la capacité d'un élève à formuler des hypothèses, à élaborer une problématique cohérente, à faire un retour critique sur cette dernière au vu des résultats de l'exploitation des données, à mettre au point un protocole original en réponse à un problème original. Pas impossible, mais pas facile quand même.

... expliquent
un enseignement
scientifique
normalisé

Surtout lorsqu'il s'agira de mettre une note : en référence à quel témoin, à quelle "norme" pourra-t-on se référer pour évaluer sur une échelle de 0 à 20 ? Beaucoup plus facile, en revanche, d'évaluer, voire de noter, le respect de consignes clairement notifiées sur un protocole fourni aux élèves, la distance entre les résultats expérimentaux obtenus et la norme définie par l'enseignant ; ou bien d'évaluer la structuration et la cohérence d'un compte rendu de TP relativement, là encore, à une norme rédactionnelle. Autant de contraintes qui devraient conduire, comme les précédentes, à fermer les situations pour contraindre les élèves dans une procédure normalisée.

C8. Les contraintes matérielles : elles peuvent être évoquées pour justifier la nécessité d'obtenir des "résultats fiables". Sans eux il est impossible d'appliquer le "syllogisme" "je vois que, or je sais que, donc...". Il est ainsi très important, pour l'enseignant qui fonctionne selon le modèle que nous avons décrit, d'obtenir des résultats que les élèves ne pourront contester.

Les conceptions des enseignants sur la science sont à analyser en liaison avec le contexte pédagogique

Notre hypothèse est donc que l'on ne peut analyser les conceptions des enseignants de sciences expérimentales à propos de ces dernières sans prendre en compte leurs propres pratiques pédagogiques et toutes les contraintes qui s'y rattachent, puisque l'essentiel de leurs références en matière de rapport à la science se situent justement dans un contexte pédagogique (6).

C'est ce que nous allons tenter d'illustrer maintenant à partir d'un exemple dans lequel nous essaierons de faire ressortir les conséquences des contraintes énumérées ci-dessus.

6. ANALYSE D'UNE SÉQUENCE D'ENSEIGNEMENT

La séquence analysée porte sur le très classique problème de l'hydrolyse de l'amidon par l'amylase salivaire en classe de Troisième des collèges (élèves de 14 à 16 ans). Cette séquence, choisie pour la simplicité de sa procédure expérimentale et des concepts en jeu, nous permettra d'illustrer notre grille d'analyse.

6.1. Phase de formulation du problème

Le problème choisi par l'enseignant est l'apparition d'un goût sucré lors de la mastication d'un morceau de pain.

Pour contextualiser ce problème, et sans leur révéler la réponse, l'enseignant demande aux élèves, en travail à la maison, de mâcher longuement du pain et de noter le goût qu'il prend.

(6) Que ce soit le contexte de leur formation initiale ou celui de leurs pratiques professionnelles.

Pour orienter les élèves vers le repérage de l'élément énigmatique (l'apparition du goût sucré), l'enseignant, en début de cours suivant, sollicite l'expression des élèves sur leur expérience vécue et, en utilisant son autorité d'enseignant, sélectionne la bonne réponse dès qu'elle est énoncée par un élève.

La nature du problème choisi par l'enseignant est bien adaptée aux instructions officielles puisque sa formulation fait intervenir l'idée qu'il existe un lien entre la présence d'enzyme et la digestion, celle-ci étant considérée comme une réaction chimique (C2).

poser
un problème
ouvert...

Le problème est intégré à une situation concrète qui fait partie de l'univers proche des élèves (C6). Il est également à l'origine de la formulation de plusieurs réponses mais, dans la mesure où l'enseignant ne retient que celle qui l'intéresse pour la suite de la séquence, ces réponses "surnuméraires" apparaissent non comme des éventualités demandant analyse mais plutôt comme des éléments perturbateurs d'un raisonnement dont la rigueur commence à s'esquisser (C6). Que ce soit l'enseignant, qui en définitive fasse intervenir son autorité pour assurer le repérage du goût sucré (loin d'être évident), conduit à exclure l'élève de la formulation du problème ; élève qui se trouve alors très rapidement dépossédé de la question qui lui a été posée (C5). Cette dépossession est justifiée par un souci d'efficacité (le temps) et de rigueur (il faut cadrer le problème). Le problème est reformulé par l'enseignant sous la forme suivante : *"qu'est-ce qui provoque l'apparition du goût sucré lorsque l'on mastique du pain ?"*

6.2. Phase d'élaboration d'hypothèses

La procédure utilisée par l'enseignant pour faire formuler aux élèves la "bonne" hypothèse (la salive à 37 °C transforme l'amidon en sucre) peut être résumée en deux étapes.

... verrouiller le
questionnement...

- **1ère étape** - Fermer le problème à l'origine de la formulation d'hypothèses, en imposant aux élèves de prendre en compte, dans leur proposition, un ensemble de données jugées indispensables par l'enseignant. Ils découvriront progressivement ces données en répondant à une série de questions judicieusement choisies et ordonnées sur une feuille photocopiée à travailler à la maison (C6).

"À partir de ces observations (en fait les réponses à une série de questions), formulez une hypothèse capable d'expliquer le goût sucré pris par le pain à la suite d'une mastication prolongée."

Questions posées par l'enseignant	Fonctions dans l'introduction de la "bonne" hypothèse
<i>"Quelle est la composition du pain? Quel glucide le pain contient-il en plus grande proportion ?"</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Focalisation de l'attention des élèves sur un constituant particulier du pain, l'amidon.
<i>"Qu'est-ce qui a agi sur le pain dans votre bouche ?"</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction de l'idée que quelque chose a agi sur le pain. • Formulation des mots "salive" et, "température". • Liaison des mots "action", "salive" et "température" dans une seule phrase : <i>"La salive et la température de 37°C agissent sur le pain."</i>
<i>"À votre avis sur quel composant du pain agissent-ils ?"</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Formulation du mot "amidon" mais cette fois-ci comme substance sur laquelle agissent la salive et la température. • Liaison des mots "action", "salive", "température" et "amidon" dans une seule phrase : <i>"La salive et la température de 37°C agissent sur l'amidon."</i>
<i>"Quelle pourrait être cette action sur l'amidon ?"</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Formulation par les élèves du groupe de mots "en le transformant". • Liaison des mots "salive", "température", "amidon" et "transformation" dans une seule phrase : <i>"La salive et la température de 37°C transforment l'amidon du pain."</i>

Ainsi se trouve construite, par emboîtement de réponses successives, l'explication du goût sucré attendue par l'enseignant.

• **2ème étape** - Guider les élèves pour trouver les bonnes réponses aux questions posés :

- en ajoutant une série de "sous-questions" qui apportent des informations complémentaires et qui diminuent de plus en plus les possibilités de réponses. La question : *"Qu'est-ce qui a agi sur le pain dans votre bouche ?"* est suivie de la série des "sous-questions" suivantes :

"J'avais mis dans ma question agissent au pluriel...ça veut dire qu'il y en a... ?"

Qu'est-ce qui peut bien agir en plus de la salive ?...

Quelles sont les conditions qui règnent à l'intérieur du corps ?...

Quelle température ?...

La salive et la... ?

La température de... ?" ;

- en sélectionnant parmi les réponses des élèves celles qu'il attend et en ignorant les autres comme le montre le tableau suivant.

... ne retenir qu'une seule hypothèse...

Questions posées par l'enseignant	Réponses sélectionnées	Réponses ignorées
"Quelle hypothèse avez-vous émise ?"	"C'est la réaction de la salive avec l'amidon qui pourrait provoquer le goût sucré."	<ul style="list-style-type: none"> • "Le pain pouvait contenir un peu de saccharose." • "Le glucose doit être un des derniers constituants du pain à être cuit (7) par la salive." • "La salive contient du sucre."
"La salive pourrait agir sur l'amidon du pain en le ... ?"	"En le transformant."	<ul style="list-style-type: none"> • "En le dissolvant." • "En le cuisant." (7) • "En le décomposant."

Ainsi pour l'élève, dans le cas présent, formuler une hypothèse dans le but d'expliquer un phénomène, c'est répondre à une succession de questions et associer dans une seule phrase, de la façon la plus intelligible possible, l'ensemble des réponses à ces questions. Ainsi est bloquée toute expression de la pensée divergente de l'élève et la possibilité qu'il aurait de s'engager dans une analyse personnelle du problème à partir de ses représentations. Là encore le souci d'arriver rapidement (C4) à une formulation "rigoureuse" du problème (au sens où il ne pourra admettre qu'une seule solution, l'hypothèse), justifie la procédure. Mais si cette procédure répond à une rationalité très forte chez l'enseignant, elle s'élabore sans prise en compte de celle de l'élève (C5 et C6).

... pour aboutir à un problème univoque

Pour formuler la "bonne" hypothèse, l'élève est davantage invité, grâce aux questions de l'enseignant, à faire des associations de mots qu'à mobiliser une pensée rationnelle qui lui permettrait de mettre en relation le "fait-problème" (l'apparition du goût sucré) avec ses connaissances antérieures. Comment, dans ces conditions, l'élève pourra-t-il prendre conscience qu'une hypothèse est une proposition d'explication à intégrer dans un système de relations intelligibles ? Une sélection des hypothèses est bien effectuée par l'enseignant parmi les propositions des élèves. Mais cette sélection fait intervenir son autorité et non les critères habituels de sélection auxquels doit être soumise toute proposition pour avoir le statut d'hypothèse scientifique (capacité à être testée expérimentalement et ne pas être en désaccord avec les données déjà disponibles). L'élève est ainsi privé de la prise de conscience de ces critères et de tout le raisonnement déductif qu'ils nécessitent de mettre en œuvre.

- (7) La précision "amidon cuit" a été apportée par l'enseignant dans un souci de rigueur scientifique, faisant référence au fait que l'amylase salivaire n'agit pas sur de l'amidon cru. Cette précision peut s'assimiler à une réponse aux contraintes de type C8, liées au matériel expérimental. Intégrée dans la phrase "digestion de l'amidon cuit par la salive", cuit est interprété par les élèves comme un verbe d'action et non pas comme un adjectif caractérisant l'amidon.

Au terme de cette phase une seule hypothèse est formulée (*“La salive à 37 °C transforme l’amidon cuit en sucre.”*). Pour les élèves, cette hypothèse ne peut être que la “bonne” hypothèse. D’une part, les élèves sont bien conscients de tous les efforts qu’a déployés l’enseignant pour la leur faire énoncer, et d’autre part, ils connaissent bien la *“coutume didactique”* (N. Balacheff, 1987) des TP de biologie qui consiste à ne tester qu’une seule hypothèse puisque c’est la seule rationnellement identifiée comme pertinente. Dans ce contexte, la tâche des élèves dans la phase d’exploitation des données sera de faire en sorte que leurs résultats expérimentaux puissent être mis en correspondance avec l’hypothèse/solution. Si c’est le cas, l’analyse s’arrêtera là et si ce n’est pas le cas, dans la mesure où il n’y a pas d’autre hypothèse plausible proposée, l’élève ne sera pas enclin à remettre en cause l’hypothèse et sa stratégie de mise à l’épreuve, mais uniquement sa façon de manipuler. Ainsi la dialectique faits/hypothèses dans le sens de contestation de l’hypothèse par les faits expérimentaux n’a aucune raison d’avoir lieu et conduit à s’enfermer dans un processus de dogmatisation.

6.3. Introduction de la connaissance à transmettre

La procédure utilisée par l’enseignant a permis de résoudre partiellement le paradoxe inhérent à la transposition didactique de la démarche expérimentale imposée par les instructions officielles. Il y a effectivement bien eu, en début de séquence, formulation de la bonne hypothèse qui n’est rien d’autre que l’objectif de l’apprentissage.

Cependant l’élève n’a jamais été invité à exprimer ses représentations sur ce que signifie la transformation de l’amidon et ses manifestations au niveau de l’observable. L’enseignant lui-même une fois le “bon mot” (transformation) obtenu, n’explique pas la signification de celui-ci. On a là un exemple de ces implicites dont nous parlions en C5.

Quant à la température exprimée dans l’hypothèse, doit-elle être considérée comme une variable ou un paramètre ? Dans un premier temps, dans la phrase bilan construite avec les élèves, la température est présentée comme une variable susceptible d’agir sur l’amidon au même titre que la salive : *“La salive et la température agissent sur l’amidon.”* Mais ensuite, dans la formulation définitive de l’hypothèse énoncée par l’enseignant avant la présentation du protocole expérimental, la température est présentée comme un paramètre : *“La salive transforme l’amidon cuit en sucre et ce à la température de 37 °C.”* Procédure cohérente avec l’hypothèse de la fermeture progressive du problème par l’enseignant (C6).

l’objet de
connaissance
émerge enfin

6.4. Phase d’expérimentation

La procédure de l’enseignant consiste à donner aux élèves une succession de consignes écrites et orales très précises sur la succession des actions à accomplir. L’enseignant

veille avec beaucoup de vigilance à la réalisation du protocole qu'il a conçu en contrôlant la bonne exécution de chaque étape (C8) ainsi que le respect de leur chronologie (C4). Dans le cas présent, expérimenter consiste à appliquer le plus scrupuleusement possible, sans état d'âme, des consignes données par l'enseignant.

l'expérimentation,
faire-valoir de
la connaissance

L'anticipation des résultats expérimentaux n'est pas explicitée. De ce fait ceux-ci ne vont pas apparaître comme des faits que l'expérimentateur a cherché à produire, guidé par l'hypothèse ; ils vont se présenter comme des faits naturels, universels que les actions de l'expérimentateur permettent de révéler. En l'absence de cette explicitation les élèves ne peuvent prendre conscience du rôle de l'hypothèse qui est de diriger la production des faits expérimentaux. La dialectique faits/hypothèses dans le sens de l'hypothèse vers les faits n'est pas mise à jour. Les données expérimentales deviendront des données au sens mathématique, c'est-à-dire des axiomes sur lesquels on pourra fonder un raisonnement déductif (et non plus hypothético-déductif).

Les conditions expérimentales ne sont plus les conséquences d'une émission d'hypothèses auxiliaires sur les facteurs qui peuvent intervenir *in vivo*, et à ce titre discutables. Ce sont ici, des conditions qui apparaissent comme naturellement constitutives de l'expérimentation et, de ce fait, à l'abri de toute critique puisque non maîtrisées par les élèves (C8). Si les résultats ne sont pas conformes ils ne pourront qu'évoquer leur maladresse ou leur manque de rigueur au cours de la procédure.

6.5. Les comptes rendus des élèves

L'étude des comptes rendus des travaux pratiques des élèves montre que sur dix-huit élèves neuf n'obtiennent pas les résultats attendus en ce qui concerne les tests expérimentaux relatifs à la présence/absence d'amidon et de sucre. Une analyse détaillée des erreurs fait ressortir que sur ces neuf cas, sept peuvent être imputés à une mauvaise application des consignes par les élèves. Pourtant la classe enregistrée était réputée comme classe docile et l'enseignant ne pouvait être plus vigilant qu'il ne l'a été dans le contrôle de la réalisation de la manipulation. On peut alors se demander si l'absence d'explicitation du raisonnement hypothético-déductif à l'origine de toute la procédure expérimentale n'a pas hypothéqué la compréhension de la finalité des actions à exécuter. Et, en la privant de sens, favoriser les erreurs manipulatoires.

des résultats peu
convaincants

6.6. Phase d'exploitation des données

L'enseignant attend des élèves une procédure appelée par R. Blanché (1989) "*procédure de type démonstration*". La vérité d'une proposition est établie car elle est la conséquence de propositions dont la vérité est reconnue. Ainsi

l'hypothèse est vraie car elle est la conséquence de propositions vraies (les résultats expérimentaux). Cette procédure peut se schématiser ainsi :

Je vois que (majeure)	1) en présence de salive l'amidon disparaît et il y a apparition de sucre 2) en l'absence de salive pas de disparition d'amidon et pas de formation de sucre
Or je sais que (mineure)	1) la disparition de x et la formation de y implique transformation chimique de x en y 2) la production d'un phénomène en présence d'un facteur "f" et sa non production en l'absence de ce même facteur implique que "f" est responsable de ce phénomène
Donc je peux en conclure que	1) il y a transformation chimique de l'amidon en sucre 2) la salive est responsable de la transformation de l'amidon en sucre

je vois que, or je sais que..., un aphorisme pas très scientifique

Cette "procédure de type démonstration" n'est pas une transposition didactique valide de la procédure de test d'une hypothèse. Cette dernière consiste, rappelons le, à valider l'hypothèse en établissant qu'elle a pour conséquence des propositions vraies (les résultats expérimentaux), et non qu'elle est elle-même conséquence de propositions vraies. Si l'hypothèse est vraie, alors le résultat devrait être celui-ci et pas un autre. Or ici c'est l'hypothèse qui devient la conséquence des résultats expérimentaux dans un mode de raisonnement qui présente toutes les apparences de la rationalité. Et l'on voit bien l'importance qu'il y a à inverser mineure et majeure dans cette logique de présentation empiriste : en attribuant le rôle de "majeure" au fait observé (qui n'a de sens qu'inclus dans la proposition énoncée en "mineure" alors que cette dernière conserve tout son sens en dehors de l'énoncé singulier de la "majeure"), on désigne explicitement la dimension heuristique attribuée à ce dernier.

principe du test expérimental

Pour mémoire la procédure expérimentale aurait dû être celle-ci :

Si mon hypothèse est vraie	Si la salive est responsable de la transformation chimique de l'amidon en sucre
sachant que	La transformation chimique de x en y implique la disparition de x et la formation de y
alors je devrais obtenir	En présence de salive, disparition de l'amidon et formation de sucre, et en absence de salive, non disparition de l'amidon et non formation de sucre
<p>Conclusion Les résultats obtenus sont en accord avec les résultats attendus ; l'hypothèse est plausible. ou Les résultats obtenus sont en désaccord avec les résultats attendus : l'hypothèse, les conditions expérimentales.... sont à revoir.</p>	

Malgré un manque de rigueur au niveau épistémologique et logique on peut cependant penser que la procédure utilisée

par l'enseignant dans cette phase contribue à renforcer certaines caractéristiques de l'épistémologie spontanée des élèves :

- le primat de l'expérience sur l'hypothèse ; le rôle de l'hypothèse étant fortement minimisé à l'avantage de celui des résultats expérimentaux ;
- le principe de dogmatisation des connaissances.

La procédure de "démonstration" aurait ainsi tendance à faire croire qu'en biologie l'expérimentation permet d'obtenir des solutions qui ont un statut de vérité absolue et non celui de vérité possible (au sens de "concevable dans un domaine de validité dépendant de l'ensemble des hypothèses auxiliaires que l'expérimentateur a introduit dans sa stratégie de mise à l'épreuve").

une procédure trop fermée...

Cette procédure renforce également l'idée qu'il n'existe qu'une seule solution possible à un problème. La procédure qui consiste à transformer le problème initial : "Trouve une explication au phénomène observé" en "Démontre que l'hypothèse formulée est juste ou fausse" fait que le problème est résolu dès que l'on a "démonstré" que l'hypothèse est "juste". Cette procédure présente donc le danger d'arrêter la recherche d'autres explications possibles et de faire croire qu'en biologie, il n'existe toujours qu'une seule explication possible à un phénomène ; solution essentiellement fondée par le raisonnement (même si ce dernier est approximatif) et pour laquelle les résultats expérimentaux jouent le rôle de preuve. Procédure qui va dans le sens de l'hypothèse émise plus haut, de cette tendance à vouloir faire, de la biologie au moins, une science exacte régie par la logique formelle. Cette idée renforce également une représentation spontanée habituelle des élèves qui "*constatant un résultat conforme à ce que laisse attendre leur hypothèse testée, concluent en faveur de cette hypothèse sans se demander s'il n'y a pas d'autre hypothèse qui est compatible avec ce qui est observé*" (E. Cauzinille-Marmèche et al., 1983).

6.7. Bilan sur l'introduction de la connaissance à enseigner

Neuf élèves sur dix-huit ont réalisé les observations attendues, donc neuf élèves étaient *a priori* susceptibles d'arriver à la connaissance à introduire : "*le sucre provient de la transformation de l'amidon sous l'action de la salive*". Seulement deux sur les neuf introduisent cette connaissance en cohérence avec leurs résultats expérimentaux. Sur ces deux élèves, un seul y parvient en ayant indiqué toutes les observations et interprétations nécessaires. Les élèves ont donc des difficultés à relier les résultats obtenus à la connaissance à introduire.

Cette difficulté est peut-être à mettre en relation avec la notion d'obstacle substantialiste (G. Bachelard, 1938). Une des conséquences de l'existence de cet obstacle serait que les élèves considèrent un changement chimique comme un

... qui conduit
à des résultats
décevants

processus au cours duquel une substance change certaines de ses propriétés tout en conservant son identité. S'il y a apparition de quelque chose de différent des substances de départ, les élèves optent, dans leurs explications, plutôt pour la préexistence des substances finales à l'intérieur des substances initiales que pour la formation de substances nouvelles (C. Solomonidou & H. Stavridou, 1994). Le mécanisme de la réaction chimique serait un "accrochage" ou un "décrochage" des substances entrant en réaction. Dans ces conditions, il sera difficile pour l'élève, sans travail préalable, de mettre spontanément en relation la transformation de l'amidon en sucre et la constatation d'une "disparition" de l'amidon associée à une formation de sucre.

Six élèves écrivent la conclusion attendue mais elle n'est pas cohérente avec leurs résultats expérimentaux. Ce résultat peut indiquer que les élèves ont eu tendance à tenir davantage compte de la coutume didactique que de leur propre réflexion pour formuler leur conclusion. La seule hypothèse envisagée étant la bonne, il suffira de recopier celle-ci.

Neuf élèves sur dix-huit écrivent une conclusion "hors sujet" :

- Huit concluent à l'influence de la température, sept lui attribuant une influence positive. Cette erreur peut être mise en relation avec le changement de statut implicite de la température, qui, de variable, est devenue un paramètre.
- Un élève conclut sur le fait que la salive contient de l'amidon.

Ce bilan montre bien que malgré les efforts de l'enseignant pour fermer le problème au point de le rendre quasi inexistant il n'est cependant pas parvenu à faire que les élèves se l'approprient, et ce faisant le comprennent. Le problème ayant perdu toute forme d'enjeu il ne reste qu'à attendre de l'enseignant la conclusion à laquelle, de toutes manières, il faudra bien parvenir.

7. RÉÉCRITURE DE LA PROCÉDURE DE L'ENSEIGNANT

Si nous essayons de réécrire toute la procédure comme s'il s'agissait de l'énoncé d'un problème de mathématique, nous obtenons une formulation de ce type :

"Du pain mâché pendant dix minutes prend un goût sucré. Sachant que :

de la logique
"expérimentale"
à la logique
"mathématique"

- le constituant essentiel du pain est de l'amidon cuit,
- la température de la bouche est de 37 °C,
- lors de la mastication il est sécrété de la salive en abondance,
- la chimie nous offre de nombreux exemples de substances qui, si elles sont mises dans des conditions favorables, se transforment en d'autres substances ;

et si l'on suppose constante la température, faites la démonstration que la salive est l'agent principal de la transformation à l'aide du protocole suivant."

Suit le détail du protocole expérimental que nous vous épargnerons.

À l'inverse d'un problème de mathématiques où l'ensemble des données est directement proposé à l'élève dans un texte introductif, ici c'est leur identification sous la direction vigilante de l'enseignant qui va prendre une part importante du temps didactique ; mais le principe de fonctionnement reste identique. On est bien dans une procédure réaliste dans laquelle les données sont bien présentes pour qui sait les identifier, c'est-à-dire pour qui a compris la nature du problème. Tout le reste de la procédure n'est ensuite que déduction s'appuyant sur ces données élevées au rang d'axiome puisque leur pertinence n'est jamais remise en cause. La construction logique du raisonnement éclipse toutes les insuffisances de la procédure et lui confère une autorité qu'aucun élève ne saura contester. Le savoir est ainsi déduit des faits, "redémontré" sans que son dogmatisme ne soit jamais entamé. *"La prétendue 'logique de la découverte scientifique' n'est en réalité qu'une reconstruction postérieure, qui est logique dans la mesure où elle se fait sur ce qui est su."* (G. Gohau, 1992).

Mais si l'on abandonne le strict point de vue de la pertinence épistémologique de la procédure pour adopter le point de vue du principe d'économie on a alors affaire à une séquence qui associe le point de vue empirique (ce sont bien les faits expérimentaux qui fondent le savoir) à une grande rigueur de raisonnement. Les quelques libertés prises avec les canons de la logique (que la synthèse des contraintes, sous forme de l'aphorisme *"on ne peut pas tout redémontrer"*, va justifier) permettent de concilier l'inconciliable : l'empirisme et la certitude des inférences. Où l'on retrouve également les options épistémologiques spontanées des enseignants : empirisme, induction, réalisme, rigueur du raisonnement scientifique. Tout ceci concourant à faire de ce modèle d'enseignement un modèle, particulièrement structuré et efficace du point de vue de l'enseignant, que des considérations d'ordre strictement épistémologique ne sauraient affecter.

une procédure
fortement
structurée

Les deux seules parties de l'hypothèse qui n'ont pas reçu de développement dans cette analyse de séquence sont celles relatives au point de vue des enseignants conséquent à leur formation initiale et aux conséquences de la procédure vis-à-vis de l'évaluation. Des enquêtes menées auprès d'enseignants devraient permettre d'apporter des éléments de réponse à la première et une étude plus complète des séquences d'enseignement de tester la pertinence de la seconde.

CONCLUSION

Cette analyse mène donc au résultat paradoxal suivant : partis d'une procédure généralement décrite comme inductive naïve et positiviste, nous en arrivons à une procédure qui s'inscrit dans la plus pure tradition du syllogisme scolastique : les savoirs sont écrits dans des textes de référence (les manuels universitaires) ; les "faits de nature", par leur intégration dans un raisonnement reprenant les principes de la logique formelle, n'ont d'autre rôle que de "démontrer" l'extrême cohérence des rapports existant entre les phénomènes étudiés et les savoirs qui décrivent leurs mécanismes. Tout comme les scolastiques contraignaient les faits pour les intégrer, par pure rhétorique, dans les systèmes explicatifs élaborés quelques siècles auparavant par les anciens (Aristote, Dioscoride, Galien,...). Construisant ainsi une science expérimentale dogmatique qui n'est pas sans rapports avec ce que l'on observe dans les classes de sciences expérimentales aujourd'hui.

Tout dans les conditions de travail de l'enseignant de sciences expérimentales concourt à conforter le point de vue qui vient d'être développé. Et la similitude avec les scolastiques dont la fonction principale était l'enseignement n'est pas fortuite. Tous deux disposent de savoirs construits et ne se reconnaissent aucune responsabilité dans sa construction ; seulement dans sa diffusion. Coupés des origines de ces savoirs, ils en sont réduits à en proposer des illustrations qui ne doivent en aucun cas les remettre en cause sous peine de trahir la mission qui leur est confiée. Étant discipline scientifique, les sciences expérimentales ne seront crédibles que si elles s'appuient sur une structure de raisonnement incontestable : la déduction. Ce choix est d'autant plus aisé que les enseignants comme les élèves baignent dans une véritable culture de la logique par l'importance faite à l'enseignement des mathématiques ; les destinataires des apprentissages les recevront donc d'autant plus facilement qu'ils n'auront pas à modifier leur mode de pensée. La maîtrise des événements mis en scène dans une telle structure permettra une programmabilité des actions conforme au découpage et à l'organisation du temps pédagogique. La rationalité de cette construction débouchera, enfin, sur une évaluation faisant appel à des mises en relation logiques d'objets privilégiant toujours et encore la pensée convergente mais permettant surtout l'émergence de critères d'évaluation normalisés (structure du raisonnement, "normalité" des résultats expérimentaux, etc.), bases indispensables à une évaluation "objective".

Ce qui nous conduit à désigner la procédure d'enseignement des sciences expérimentales comme comparable à celle des scolastiques : fondée sur des savoirs dogmatisés et argumentée par la seule logique formelle. À quoi l'on pourrait ajouter une forte inclination pour l'approche analytique. Ce

trop de
déduction nuit
à la spécificité
des sciences
expérimentales

qui, pour créer un néologisme, pourrait se résumer en “procédure logico-dogmatique”. Redéfinition qui rend plus cohérentes toutes les recherches menées autour des situations-problèmes cherchant à introduire dans les classes moins de rigorisme (moins de pensée convergente) et plus de liberté d’exploration (davantage de pensée divergente). Mais n’est-ce pas justement ce que prônait Francis Bacon dans son *Novum Organum* qui dénonçait si bien l’hégémonie de la logique formelle et l’utilisation abusive qu’en faisaient les scolastiques ? Et si la solution pour sortir notre enseignement expérimental de son impasse dogmatique était d’introduire une dose d’induction dans un monde largement dominé par la déduction ?

réintroduire
l’induction

Comme nous le disions au début de cet article il ne s’agit pas d’un simple débat autour de mots. Décrire “l’épistémologie spontanée” des enseignants comme inductiviste conduit à prôner une démarche hypothético-déductive à forte tendance déductive. Or nous venons d’essayer de montrer que leur démarche pourrait justement souffrir d’un excès de déduction. Le remède devrait donc être inverse et conduirait à instiller une approche plus ouverte des problèmes. C’est ce que font déjà tous les enseignants qui laissent leurs élèves libres d’énoncer leurs hypothèses et qui, surtout, les prennent toutes en compte à un moment au moins de la résolution du problème. C’est cette phase mettant en jeu la pensée divergente que l’on pourrait caractériser d’inductive. Phase qui précéderait un ensemble de choix collectivement discutés conduisant à la fermeture du problème autour d’une hypothèse et de quelques variables : seconde phase conduite, cette fois, par une procédure déductive. La transposition de la démarche scientifique consisterait alors à distinguer trois temps : le premier dans lequel toutes les hypothèses rationnellement envisageables par la classe seraient prises en compte et analysées (phase d’induction) ; le second qui consisterait à faire des choix selon des critères explicites ; le troisième serait une méthodologie contraignante et rigoureuse de test des hypothèses retenues (déduction conjoncturelle). Autant d’étapes qui permettraient aux élèves de donner et de conserver son sens à l’ensemble de la procédure expérimentale.

Cette proposition pourrait s’avérer féconde en biologie lors de l’initiation des élèves à l’approche multifactorielle propre à l’étude des systèmes. L’approche strictement hypothético-déductive ne s’applique vraiment que dans un cadre analytique où toutes les variables sont identifiées et maîtrisables. Et l’on vient de voir que même dans ce cas elle peut subir des dérives dogmatiques. Introduire dans la procédure de résolution de problème un temps plus long à la contextualisation en favorisant une initiation à l’observation (8) devrait permettre une approche plus globale des phénomènes. La mise en réseau des faits ainsi collectés devant ensuite conduire les élèves, à l’aide de raisonnements fondés sur la logique, à se construire une première architecture du sys-

tème étudié. C'est cette part d'induction qui nous semble faire défaut dans les modalités actuelles de l'enseignement de la biologie.

L'originalité de cette dernière proposition n'est certes pas très grande, d'autres l'ont faite bien avant nous (G. Gohau 1985 et 1992) ; nous avons seulement souhaité la replacer dans une perspective d'analyse systémique des situations d'enseignement expérimental, peut-être plus conforme avec une certaine transposition des apports de l'épistémologie. Il ne s'agirait donc plus de proposer toujours plus d'hypothético-dédution dans un enseignement qualifié d'inductiviste mais davantage d'induction conjoncturelle dans un enseignement qui apparaît comme à la fois fondé sur l'empirisme et largement dominé par une transposition dogmatique de la logique formelle.

Simone BOMCHIL
Bernard DARLEY
L.I.D.S.E. Université
Joseph Fourier. Grenoble

BIBLIOGRAPHIE

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

BALACHEFF, N. (1987). "Le contrat et la coutume. Deux registres des interactions didactiques". In *Actes du colloque franco-allemand de Luminy*. Grenoble : La pensée sauvage.

BERNARD, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris : Flammarion, 1984.

BLANCHÉ, R. (1969). *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*. Paris : Armand Colin.

BLANCHÉ, R. (1989). "Raisonnement". In *Encyclopædia Universalis* (pp. 508-511). Paris.

BROUSSEAU, G. (1986). "Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques". *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7, 2, 33-115.

CAUZINILLE-MARMÈCHE, E., MATHIEU, J., WEIL-BARAIS, A. (1983). *Les savants en herbe*. Berne : Peter Lang.

(8) Nous distinguons constat et observation. Un constat est le relevé d'un fait ou d'un événement sans préjuger de son rôle dans le déroulement d'un phénomène. L'observation, à l'inverse, est la capacité à identifier des faits que l'on juge (à tort ou à raison, c'est la suite qui le dira) susceptibles de prendre part au déroulement du phénomène qui est objet d'étude.

CHALMERS, A. (1976). *Qu'est-ce que la science ?* Paris : Éd. La Découverte, 1988.

CHEVALLARD, Y., JOHSUA, M.-A. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : Éd. La Pensée Sauvage.

COMTE, A. (1835). *Cours de philosophie positive*. Paris : Nathan, 1989.

DARLEY, B. (1993). "Options épistémologiques exprimées par les enseignants-chercheurs et les enseignants du secondaire sur la démarche expérimentale". In A. Giordan, J.-L. Martinaud et D. Raichvarg, (Éds). *Actes des XV^{es} Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Techniques de Chamonix* (pp. 537-544). LIREST, Université de Paris 7.

DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique?* Québec : Les Presses de l'Université de Laval.

GOHAU, G. (1985). "Plaidoyer pour un inductivisme modéré". *Bulletin de l'A.P.B.G.*, 4-1985, 705-708.

GOHAU, G. (1992). "Esprit déductif versus esprit inductif". *Aster*, 14, 9-19. Paris : INRP.

JOHSUA, S., DUPIN, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : P.U.F.

LARGEAULT, J. (a) (1984). "Idéalisme". In *Encyclopædia Universalis* (pp. 889-894). Paris.

LARGEAULT, J. (b) (1984). "Réalisme". In *Encyclopædia Universalis* (pp. 585-588). Paris.

ORLANDI, É. (1993). "Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale". *Aster*, 13, 111-132. Paris : INRP.

POPPER, K. (1959). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot, 1973.

ROBARDET, G. (1995). *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*, Thèse de doctorat d'université. Université J. Fourier, Grenoble 1.

RUEL, F., DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M. (1997). "Enseigner et apprendre les sciences : représentations sociales de futurs enseignants et enseignantes". *Didaskalia*, 10, 51-73.

SOLOMONIDOU, C., STAVRIDOU, H. (1994). "Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique". *Aster*, 18, 75-95. Paris : INRP.