

Journée d'étude Expérimentations d'enseignements scientifiques renovés en classe de seconde –

Organisé par : Programme Apprentissages Curriculum et Didactiques – Equipe EducTice
Date et lieu : 18 novembre 2009, INRP, Lyon

Bernard Darley, IUFM d'Aquitaine ; bernard.darley@aquitaine.iufm.fr

Le cahier des charges comme moyen d'initier les élèves à une science expérimentale ouverte

Mots clefs : démarche d'investigation, cahier des charges, protocole expérimental

Le déterminisme français a établi, au XIX^{ème} siècle, les fondements de la relation de causalité (« toutes choses étant égales par ailleurs, les mêmes causes engendrent les mêmes effets »). Associée à une approche analytique réductionniste des objets étudiés, elle allait permettre aux sciences expérimentales de rompre avec l'empirisme en posant les bases d'une démarche hypothético-déductive qui permet la prédiction de résultats reproductibles. Ce déterminisme associé à une vision réaliste du monde conduit à une réification des savoirs qui acquièrent une réalité en soi (la découverte), indépendante de celui qui les énonce et du contexte dans lequel ils sont énoncés, prenant ainsi une valeur universelle.

Le parallèle avec la façon dont les savoirs scientifiques sont proposés actuellement dans les classes, aussi bien en physique, qu'en chimie ou en biologie ne peut que nous interpellier. Si des tentatives de plus en plus nombreuses sont faites pour intégrer une nouvelle dimension épistémologique non totalement déterministe dans l'enseignement des sciences expérimentales, l'approche déterministe réductionniste y reste cependant très largement dominante. L'explication pourrait en être la suivante :

1 - une injonction institutionnelle que l'on trouve très clairement exprimée dans les instructions officielles, qui se traduit par une présentation générale des sciences expérimentales très centrée sur leurs capacités non seulement à expliquer mais également (et peut être parfois surtout) à prédire les événements ;

2 - une démarche d'investigation qui fait une large place à la formulation d'hypothèses explicatives, au développement de cette compétence des élèves à se projeter dans l'avenir pour prédire le devenir d'un phénomène ou proposer une explication de son fonctionnement à partir d'observables qui leur sont présentés et qu'on leur demande de confronter à leurs connaissances initiales. Tout est, ou doit être, explicable et prévisible, *in fine*, par une seule explication.

3 – le monde dans lequel évolue l'enseignant est un monde déterminé, limité par les connaissances qu'il a acquises au cours de sa formation et qu'il doit transmettre pour partie¹. Professionnellement l'enseignant évolue donc dans un monde où le savoir à transmettre détermine l'activité, qui elle-même (pour les élèves au moins) détermine le savoir à acquérir. Même si, en référence à un problème donné, plusieurs hypothèses peuvent être explorées au sein de la classe, seule celle correspondant au savoir à transmettre sera finalement retenue par la classe au terme de la démarche.

Cette centration, légitime, sur le savoir à transmettre et sur une démarche d'investigation elle-même centrée sur la validation du savoir à construire ne permet pas

¹ A l'inverse, les chercheurs évoluent dans un espace ouvert, où le monde à explorer n'est plus borné par l'illusion de limites qui le rendraient définitivement connaissable.

d'initier l'élève avec la gestion d'options multiples, également pertinentes, comme peuvent le faire les scientifiques confrontés à plusieurs hypothèses. Cette familiarisation serait cependant possible si, pour partie au moins de ses mises en application, la démarche d'investigation était centrée non sur le savoir à construire mais sur la diversité des protocoles possibles pour résoudre un même problème. La mise en application du principe du cahier des charges² à l'élaboration des protocoles permettrait, outre un pont évident avec cette discipline, de déboucher sur des propositions dont la pertinence et la diversité ne renverraient pas forcément à l'épilogue dichotomique dénoncé plus haut, mais à la coexistence de plusieurs solutions fonctionnelles. C'est cette option qui sera illustrée par l'exemple d'une classe de cycle 3 confrontée à la construction d'une couveuse.

Numéro de la question : 3, réification des concepts

Déterminisme et réductionnisme dans l'enseignement des sciences expérimentales : intérêt et limites

Bernard Darley

IUFM, LACES – DAESL, Université Bordeaux 2, BP219 33021 Bordeaux cedex,
bernard.darley@aquitaine.iufm.fr

Résumé : L'enseignement des sciences expérimentales en France, de l'école élémentaire au lycée, est fortement marqué par une approche déterministe réductionniste. Cette épistémologie, fortement inspirée des sciences physiques est largement appliquée à l'enseignement de la biologie. Tout en reconnaissant l'intérêt unificateur de cette approche, nous tentons ici d'en montrer les limites dans une mise en application des programmes de SVT qui prendrait en compte une épistémologie de la biologie plus conforme à ses nouveaux développements.

MOTS CLES : déterminisme, épistémologie, didactique, sciences expérimentales

Introduction : Positivisme et néopositivisme dans l'enseignement des sciences expérimentales

L'enseignement des sciences expérimentales a souvent été décrit comme positiviste ou inductiviste, les deux termes se confondant le plus souvent pour décrire une approche de l'enseignement des sciences expérimentales centrée sur des observations premières dont découlent, par inférence inductive, les savoirs enseignés. Cette description de l'enseignement des sciences a fait l'objet publications suffisamment nombreuses pour qu'il soit inutile d'y revenir plus longuement (Giordan, 1978, Johsua et Dupin, 1993, Kahn, 1999, Orlandi 1993, Robardet, 1995, Ruel et al., 1997, pour ne citer que quelques références).

Ces analyses imputent aux enseignants de sciences expérimentales une épistémologie spontanée, remarquable par son universalité mais mystérieuse quant à son origine. Peu nombreux étant les enseignants ayant suivi une formation épistémologique, voire ayant même une idée précise du sens de ce terme, l'origine de cette approche des sciences est imputée à la reproduction des pratiques expérimentales suivies lors de la formation universitaire, pratiques qui restent très centrée sur la monstration : de l'investigation d'un objet remarquable (prototypique diraient Joshua et Dupin, *ibid.*) on tire la validation d'une loi universelle. Nous nous étions déjà positionné dans ce débat dans un précédent texte (Bomchil et Darley, 1998) et nous voudrions y revenir aujourd'hui en proposant un nouvel éclairage.

² Tel qu'il est défini en technologie : définir avec la plus grande précision à **quoi va servir l'objet** (ici le protocole et sa finalité), et **quelles sont les contraintes** dont il faut tenir compte pour le réaliser.

1 - Le déterminisme épistémologique

Le déterminisme français, largement dominé au XIX^{ème} siècle par les figures de P.S. Laplace, M. Berthelot et C. Bernard, établit la règle de la relation de causalité (« toutes choses étant égales par ailleurs, les mêmes causes engendrent les mêmes effets ») qui, associée à une approche analytique réductionniste des objets étudiés allait permettre aux sciences expérimentales de rompre avec l'empirisme en posant les bases d'une démarche qui permettait la prédiction de résultats reproductibles. Bases d'une démarche que l'on retrouve dans l'aphorisme de Laplace³. Ce déterminisme associé à une vision réaliste du monde conduit à une réification des savoirs. Une fois énoncés, les savoirs transcendent la communauté scientifique, ils acquièrent une réalité en soi, indépendante de celui qui les énonce et du contexte dans lequel ils sont énoncés, prenant ainsi une valeur universelle. Universalité des savoirs, lois de la Nature ... La vérité est cachée, l'œuvre des savants est de savoir la dévoiler, de faire des « découvertes ».

Le parallèle avec la façon dont les savoirs scientifiques sont proposés actuellement dans les classes, aussi bien en physique, qu'en chimie ou en biologie ne peut que nous interpeler.

La fin du XIX^{ème} siècle et le début du XX^{ème} marquent, aussi bien pour les sciences biologiques que pour la physique, une période de transition entre deux approches de la connaissance. L'apparition de la physique non déterministe (avec, entre autres, le principe d'incertitude d'Eisenberg et la physique statistique de Boltzmann), et la mise en lumière du rôle des mutations (et donc du hasard déjà pressenti par Darwin) dans le fonctionnement et l'organisation du vivant, conduisent ces deux disciplines à revoir complètement la finalité de leurs recherches. Plus que des savoirs définitifs expliquant un monde connaissable, déterminé par des lois immuables, la science va alors proposer des outils (les modèles) qui permettent de rendre intelligible la part qui nous est accessible d'un monde que le hasard peut sans cesse faire évoluer.

Depuis le milieu de la première moitié du XX^{ème}, l'orientation de plus en plus relativiste, non déterministe de la recherche scientifique conduit à un développement de la modélisation comme processus de compréhension du monde, les modèles se substituant aux savoirs tels qu'on les concevait préalablement. D'objets figés les savoirs deviennent évolutifs, reformulables ; ils deviennent des outils associés à une fonction bien identifiée (expliquer, prédire, décider,...), conjectures valides dans un contexte clairement défini et pour un temps donné, celui de leur résistance à la réfutation (Popper, 1985). Les savoirs passent ainsi d'une dimension transcendantale (voire d'inspiration divine chez certains), universelle, à une dimension artéfactuelle⁴, labile. Le monde n'est plus connaissable en soi et dans sa totalité mais seulement partiellement au travers d'outils construits par l'Homme.

2 - Le déterminisme dans l'enseignement des sciences expérimentales

³ « *Les évènements actuels ont avec les précédents une liaison fondée sur le principe évident qu'une chose ne peut pas commencer d'être sans une cause qui la produise. (...) Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle est assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome ; rien ne saurait être incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux.* » (Laplace P., 1820, p. 5-6)

⁴ La notion d'artéfact est prise, ici, au sens que lui donne Rabardel, d'objet construit par l'Homme (Rabardel, 1998, p. 34)

Si des tentatives de plus en plus nombreuses sont faites pour intégrer cette nouvelle dimension épistémologique non totalement déterministe dans l'enseignement des sciences expérimentales, l'approche déterministe réductionniste y reste cependant très largement dominante. L'explication pourrait en être la suivante :

1 - une injonction institutionnelle que l'on trouve très clairement exprimée dans les instructions officielles (voir annexe) qui se traduit par une présentation générale des sciences expérimentales très centrée sur leurs capacités non seulement à expliquer mais surtout à prédire les événements. Le hasard est encadré au maximum par l'utilisation en classe d'objets ou de matériels choisis en fonction de leur comportement aussi conforme que possible à la loi ou à l'explication canonique du mécanisme qui est l'enjeu de l'apprentissage. Et si le hasard, en biologie particulièrement, intervient de manière trop péremptoire, ses effets ne sont pas analysés comme des événements pertinents caractérisant la diversité du vivant, mais, trop souvent, comme une absence de maîtrise de l'expérimental (matériel vivant « trop vieux », « mal préparé »...);

2 - une approche de la causalité centrée sur une relation simple (pour ne pas dire simpliste) de la relation cause-effet ; simplicité dont M. Morange (2003) et J. Ricard (2003) montrent bien combien, en biologie, elle est particulièrement illusoire⁵ ;

3 - une démarche expérimentale, qui fait une large place à la formulation d'hypothèses conduisant à des expérimentations qui prennent le statut de preuves au sens défini par Balacheff⁶ ;

4 - une capacité (telle que la définit Laplace) des savoirs construits à expliquer et à prédire ; ce qui est une constante assez générale dans les savoirs construits en sciences expérimentales ;

5 - enfin, le monde dans lequel évolue l'enseignant est un monde déterminé, un monde fini, limité par les savoirs qu'il a acquis au cours de sa formation et qu'il doit transmettre pour partie⁷. Savoirs qui lui ont été délivrés sans références à la question à laquelle ils sont censés apporter réponse. «*Oubliée la question, ne subsiste alors que la réponse qui ne dit pas qu'elle est réponse. (...) On comprend donc que la réponse puisse effectivement résoudre une question sans dire son sens de réponse et donc rejeter, du même coup, la question dans l'oubli. La proposition se présente alors comme une réalité indépendante des conditions qui l'on vu naître : comme une solution «en soi», ou encore comme un résultat.*» (Fabre, 1999, p. 42). Professionnellement l'enseignant évolue donc dans un monde tautologique où, réifié, le savoir à transmettre dicte les activités à mettre en œuvre pour l'illustrer et où les activités proposées aux élèves, par effet de miroir, ne peuvent déboucher que sur le savoir à transmettre. Ainsi, plus que dans une approche inductiviste (qui supposerait la présentation de plusieurs cas congruents avant de proposer une inférence générale), sommes nous plutôt dans une « monstration » (au sens de Johsua et Dupin, 1993) qui n'a d'autre objectif que de justifier, par un exemple « exemplaire » le bien fondé du savoir à transmettre. Le savoir détermine l'activité qui elle-même (pour les élèves au moins) détermine le savoir à acquérir. Même si, en référence à un problème donné, plusieurs

⁵ Pour une analyse du raisonnement linéaire causal en physique voir Viennot 2003.

⁶ « *Lorsqu'elle s'exprime en un discours, l'explication vise à rendre intelligible à un autrui la vérité des propositions déjà acquise par un locuteur. Le passage de l'explication à la preuve fait référence à un processus social par lequel un discours assurant la validité d'une proposition change de statut en étant accepté par la communauté* » (Balacheff in Johsua et Dupin, 1993, p. 26)

⁷ A l'inverse, les chercheurs évoluent dans un espace ouvert, où le monde à explorer n'est plus borné par l'illusion de limites qui le rendraient définitivement connaissable.

hypothèses peuvent être explorées au sein de la classe, seule celle correspondant au savoir à transmettre sera finalement retenue au terme de la démarche⁸.

3 - Déterminisme et réification des savoirs

Devant la résistance au réductionnisme que peut opposer un objet vivant (ou appartenant au vivant) le choix a généralement été fait de réduire le comportement de ces objets à celui de leurs constituants et d'assimiler le comportement du tout à celui des parties (voir annexe l'extrait des instructions officielles pour les SVT). Cette approche est également renforcée par le cheminement, rarement démenti tout au long du cursus, qui consiste à aller quasi systématiquement du macroscopique vers le microscopique, de l'organisme vers ses unités physiologiques, de la diversité vers l'unité fonctionnelle.

Cette conceptualisation du déterminisme réductionniste comme postulat⁹ n'a de sens que si elle s'accompagne d'une conceptualisation des objets, gommant toute singularité au profit d'une réduction à quelques caractères désignés comme universels. Ainsi, en mécanique, les objets sont-ils réduits à leur centre de gravité, un circuit électrique à un schéma de principe, faisant disparaître toute singularité propre aux objets qu'ils sont censés représenter. En biologie où la singularité est une composante intrinsèque de chaque être vivant du fait de son patrimoine génétique unique, la même conceptualisation des objets va être appliquée. La graine, le poumon, l'intestin, la chaîne de ribosomes s'effaceront en tant qu'objets singuliers pour être utilisés comme des objets conceptuels dont on aura fait disparaître toutes les singularités qui en font des objets biologiques au sens plein du terme (leur appartenance à un individu particulier, leur histoire, le contexte dans lequel ils évoluent...). Et l'utilisation du singulier (la cellule, la branchie, ...) est bien symptomatique de cette négation de la diversité. Un objet biologique peut ainsi être réduit à un support de fonction. On n'étudiera plus les branchies dans leur diversité, comme objets singuliers caractérisées par leur appartenance à un individu donné (écrevisse, têtard, poisson, vers...), mais comme support des échanges gazeux en milieu aquatique. C'est le principe de diffusion des gaz dissous dans l'eau au travers d'une fine membrane biologique qui sera construit et édifié en concept général, applicable à tout animal aquatique possédant des branchies, qu'il soit ver, mollusque ou poisson¹⁰. Ce principe général, dont nous ne discutons pas la pertinence, ne permettra cependant pas d'expliquer pourquoi une carpe pourra survivre là où une truite mourra rapidement. De la même manière que la réduction d'un objet physique à son centre de gravité permet de s'affranchir de la multiplicité des formes possibles (qui pourraient, par exemple, expliquer des trajectoires de chutes différentes), la réduction d'un organe à un support de fonction permet de s'affranchir de la diversité de formes, de caractéristiques et de propriétés singulières que cet objet peut prendre lorsqu'il est associé à un organisme particulier, dans un état physiologique donné et vivant dans un milieu défini. L'objet biologique s'efface derrière le concept auquel on l'a associé, le concept acquiert une dimension universelle, contribuant à la réification des savoirs.

Des exemples de ce type pourraient être multipliés, de la 6^{ème} à la Terminale, du concept de cellule à celui d'enzyme, de la notion de réseau trophique à celle de régulation hormonale.

⁸ La technologie fait exception à cette critique dans la mesure où, à un cahier des charges donné, plusieurs solutions techniques, également valides, peuvent coexister. C'est justement cette exception qui a inspiré la suite de notre travail.

⁹ « la critique rigoureuse de l'idée de déterminisme a eu pour résultat de mettre en évidence que le déterminisme était un postulat, bien que l'on ait fini par le prendre pour un concept scientifique, puisque le succès des prédictions en mécanique céleste notamment, suffisait à le confirmer et à l'asseoir. En fait, il apparut que le postulat du déterminisme n'était justifié que sous certaines conditions, dans un système physique supposé clos. » p. 457 (Bertrand Saint-Sernin, Contingence, Encyclopedia Universalis, pp. 456-458)

¹⁰ programmes de 5^{ème} « respiration et occupation des milieux de vie ».

Le déterminisme réductionniste permet donc, en biologie, de construire des concepts aussi généraux que possible, à défaut d'être universels. Il permet également, en limitant de manière drastique le nombre de facteurs à prendre en compte, de rechercher avec les élèves des causalités simples ou multiples par l'identification et la séparation des variables ; et de les initier ainsi à des démarches de résolution de problèmes intégrant des expérimentations comme moyen de validation.

Ce déterminisme conceptualisé, cette recherche systématique de causalités simples va constituer le fil directeur principal de l'initiation scientifique des élèves. Si cette approche confère à cet enseignement des sciences une unité épistémologique intéressante pour les élèves, elle n'en présente pas moins des limites qui vont se révéler lorsque certains concepts seront abordés en prenant en compte un point de vue plus conforme avec ce que l'on sait aujourd'hui des mécanismes du vivant, notamment :

- la prise en compte du temps comme composante intrinsèque des processus
- l'approche systémique par opposition à l'approche analytique
- l'approche populationnelle (avec le concept d'émergence)
- la prise en compte de la diversité comme constitutionnelle du vivant (et non plus comme obstacle à dépasser pour aboutir à une modélisation généralisable d'une fonction ou d'une structure)
- la prise en compte de la contingence
- la capacité à l'autorganisation.

4 – Démarche expérimentale¹¹ et révolution scientifique

La finalité de la démarche expérimentale est de placer les élèves dans la position (relative) de chercheurs qui ont un problème à résoudre (voir en annexe, les extraits du programme de terminale S). Les résultats de cette investigation doivent participer à la construction des savoirs nouveaux attendus par l'institution. Souvent appuyée sur les conceptions des élèves qu'il s'agit de dépasser, la démarche expérimentale s'inscrit donc clairement dans une logique de changement de paradigme. L'essentiel du temps didactique va donc être consacré à la construction d'un nouveau modèle explicatif par une démarche de déconstruction du (ou des) précédent(s) modèle(s) et par la mise en œuvre d'une démarche de preuve s'appuyant sur des expérimentations aux résultats normalisés. On est donc, à l'échelle de l'élève, dans un processus de « révolution scientifique » tel que le définit T. Kuhn (1962), un paradigme¹², parfois solidement établi (la conception) devant être remplacé par un nouveau savoir plus efficace à résoudre de nouveaux problèmes. Il y a donc transposition d'une situation de recherche ouverte (celle qui conduit des chercheurs à proposer un paradigme alternatif à celui, ou ceux, établis dans la communauté scientifique) en une situation d'enseignement déterminée par la construction du savoir imposé par les programmes.

La démarche en soi n'est pas critiquable. Comme toute transposition didactique elle se doit de s'adapter aux contraintes du milieu dans lequel elle est amenée à fonctionner. Les élèves y

¹¹ Il serait plus « politiquement correct » de parler aujourd'hui de démarche d'investigation qui définit une approche plus élargie de la démarche de construction de connaissance, la démarche expérimentale n'en représentant qu'un aspect. J'ai cependant volontairement gardé la locution de « démarche expérimentale » car c'est quand même principalement cette dernière qui est mise en application au lycée.

¹² Ce terme de paradigme largement utilisé par T. Kuhn, sera ici employé comme synonyme de modèle et non de théorie. La théorie se définissant plutôt comme une « famille de modèles » (Johsua et Dupin, 1993, p17)

prennent une part active souvent importante qui participe à l'intérêt que suscitent les sciences expérimentales.

Le problème n'est donc pas tant là que dans l'aspect systématique que peut prendre cette démarche didactique : à chaque nouveau chapitre son problème à résoudre et son nouveau modèle à construire. Une fois le modèle construit le temps imparti au chapitre est écoulé et le modèle, validé par des expérimentations *ad hoc*, perd son statut de modèle et se réifie en vérité scientifique faute d'avoir été exploré plus en détail. L'image qui est alors donnée de la science est celle d'une révolution permanente où les savoirs se construisent non pas par ajustement mais par remplacement successifs. Définitifs.... Jusqu'à la prochaine fois.

5 – Démarche d'investigation et science normale

Pourtant, toujours selon T. Kuhn (1962), l'essentiel du travail des scientifiques s'inscrit dans ce qu'il appelle « la science normale » ; les « révolutions scientifiques » qui bouleversent les paradigmes établis n'étant que des moments exceptionnels, apparaissant après un long processus de travail de la science normale. Cette science normale consiste à explorer, étendre ou restreindre, affiner la pertinence et l'efficacité du modèle. « *Parmi les gens qui ne sont pas vraiment des spécialistes d'une science adulte, bien peu réalisent quel nettoyage il reste à faire après l'établissement d'un paradigme, ou à quel point ce travail peut se révéler passionnant en cours d'exécution* » (T. Kuhn, 1962, p 46)

Ce travail n'est que très rarement fait (peut-on oser dire jamais ¹³?) en classe. Le modèle une fois construit en s'appuyant sur le travail d'investigation des élèves ne joue plus ensuite que le rôle de cadre dans lequel tous les phénomènes soumis aux élèves à titre d'exercice doivent s'inscrire strictement. L'objectif étant de conforter le modèle, tous les phénomènes proposés sont des phénomènes *ad hoc* qui ne remettent pas le modèle en cause. Renforçant ainsi l'aspect déductif et déterministe des savoirs scientifiques proposés aux élèves.

Imaginons à présent un enseignement des sciences où le modèle ne serait non plus construit par la « communauté classe » mais proposé par le professeur comme une donnée issue du travail des scientifiques. Exposé formel donc qui définit le modèle et les arguments qui le valident. La démarche d'investigation proposée alors aux élèves consisterait à explorer le domaine de validité du modèle au travers d'exemples divers qui, pour certains, confirmeraient le modèle, et pour d'autres en exprimeraient les limites.

La démarche d'exploration serait ainsi complémentaire de la démarche de construction. Cette dernière, s'appuyant sur des éléments paradoxaux et des connaissances préalables, permet d'identifier d'abord ce qui fait problème avant de s'engager dans une procédure de résolution qui conduit à la construction du modèle. La démarche de « science normale » s'appuie sur un modèle donné par la communauté scientifique, proposant un espace explicatif qu'il est nécessaire d'explorer. Il n'y a pas de problème à résoudre, juste tester la pertinence du modèle. Mais pour cela il faut en explorer le fonctionnement et en définir les limites ; ce qui est tout l'enjeu de la démarche.

Cette exploration des limites du modèle, qui peut, ou non, conduire à des reformulations partielles de ce dernier¹⁴, permet également d'introduire le critère de scientificité proposé par K. Popper (1983) : « *Le critère de la scientificité d'une théorie réside dans la possibilité de*

¹³ la seule référence explicite à cette confrontation du modèle à une réalité « non formatée » se trouve en page 15 du programme de 1ère S au chapitre « classe de terrain ».

¹⁴ on peut imaginer, par exemple, que le modèle fourni par l'enseignant soit incomplet et qu'une reformulation puisse être proposée à la suite d'une investigation qui en aurait révélé les limites.

l'invalider, de la réfuter ou encore de la tester. » (p 65). Il ne s'agit pas, bien entendu d'invalider ou réfuter le modèle proposé (nous ne sommes pas dans un colloque scientifique) mais bien de le tester, de le confronter à une réalité plus « rétive », différente de la réalité formatée utilisée généralement pour valider le modèle de manière définitive.

La variabilité du vivant, si elle est exploitée dans ce but, peut être un domaine intéressant à explorer. Dans le chapitre unité et diversité du vivant du nouveau programme de 2^{de}, l'architecture cellulaire (le modèle), prise comme une donnée, peut conduire à l'exploration de sa diversité à l'aide de quelques exemples de cellules très différentes morphologiquement (la singularité) au lieu de faire l'inverse, c'est-à-dire dégager le modèle (unité) déjà connu des élèves, de la diversité des formes comme il est souvent fait. Ainsi c'est le modèle qui serait soumis à l'épreuve de la diversité, montrant ainsi ses limites à décrire cette dernière, tout en restant pertinent dans son principe descriptif des principaux éléments de l'architecture cellulaire.

Il en est de même avec la mise en évidence de l'autotrophie. Plutôt que de chercher à reproduire la courbe de dégagement d'oxygène d'une culture de chlorelle que l'on trouve dans la plupart des manuels, cette dernière pourrait constituer le modèle de la photosynthèse présenté aux élèves. L'investigation consisterait alors à explorer les dégagements gazeux d'autres végétaux dont les courbes seraient alors comparées entre elles et au modèle. Celui-ci serait alors clairement identifié pour ce qu'il est : une représentation idéalisée, donc partielle, d'un phénomène dont la variabilité est très grande. Et non plus la représentation objective d'un phénomène singulier observé en classe et que l'on érige en modèle définitif.

L'objectif d'une telle démarche est de permettre aux élèves d'approcher les savoirs scientifiques sous l'angle des modèles, outils de description et d'explication du monde limités par un domaine de validité, donc non universels ; adaptables à de nouvelles contraintes, donc non figés ; évolutifs dans le temps, donc non définitifs.

6 – Démarche d'investigation et cahier des charges

Une autre entrée possible pour se distancier d'une science linéaire faite d'un enchaînement de causalités simples débouchant sur une solution unique qui s'impose comme une évidence réside dans le travail sur les protocoles expérimentaux. L'objectif est de laisser s'exprimer jusqu'au bout, c'est-à-dire jusqu'à la mise en œuvre, l'inventivité des élèves à propos de la construction d'un protocole expérimental répondant à un cahier des charges précis.

La notion de cahier des charges est issue de la technologie. Selon Bédart-Naji (2000, p.20) le cahier des charges se définit par la prise en compte de trois types de fonctions. **La fonction principale ou fonction d'usage** qui doit définir, aussi précisément que possible à quoi doit servir l'objet à construire. **Les fonctions contraintes** qui définissent le temps, les outils, les matériaux dont on pourra disposer. Enfin **Les fonctions techniques** qui précisent les habiletés techniques qu'il faudra maîtriser pour que la solution proposée soit recevable. Le cadre ainsi construit va constituer le domaine d'investigation dans lequel les élèves vont pouvoir opérer.

Ainsi pour un protocole expérimental le professeur définira la fonction d'usage qui sera de permettre de vérifier la conséquence observable de l'hypothèse en jeu ; les fonctions contraintes c'est-à-dire le temps et le matériel mis à la disposition des élèves ; les élèves devront prendre en compte les fonctions techniques selon le type de matériel qu'ils proposeront d'utiliser. C'est la réalisation de la fonction d'usage, et elle seule, qui validera la démarche. Ainsi peut-on imaginer plusieurs protocoles possibles, s'appuyant sur des principes ou des techniques différents, mais remplissant tous leur fonction d'usage : permettre de tester les conséquences vérifiables de l'hypothèse.

C'est cette démarche que nous avons mise en oeuvre dans une classe de CM2 qui avait pour projet de couvrir des œufs. Le cahier des charges a été défini de la façon suivante :

La fonction d'usage était de construire un dispositif permettant de couvrir des œufs en l'absence de poule ;

Les contraintes de la couvaison ont été définies (conditions de température, d'hygrométrie, régulation, retournement ...) ainsi que celles liées au travail en classe (temps, espace, coût du matériel...);

Les fonctions techniques étaient à définir par les élèves, en fonction du type de solution technique qu'ils envisageaient d'utiliser.

Quatre protocoles différents ont été proposés par les élèves, utilisant des matériaux différents (structure de l'enceinte, isolants), des techniques différentes pour le chauffage et sa régulation (ampoule, résistance, thermostat à capsule ou électronique, simple ventilation ...). Trois protocoles ont pu être menés à terme et testés. Le succès mitigé (une seule couveuse a donné naissance à des poussins avec un taux de réussite inférieur à 50%) a permis un débat sur les causes des insuccès : les contraintes ont-elles bien été toutes respectées (le matériel était-il fiable ? le contrôle de la température et de l'hygrométrie a-t-il été rigoureux ?...); les œufs étaient-ils de bonne qualité ? Comment pourrait-on améliorer le dispositif ?

Le succès partiel de la seule couveuse à avoir permis d'obtenir des poussins n'a pas occulté la pertinence des autres dispositifs testés, d'autant que des erreurs de manipulations ont été relevés qui pourraient expliquer la mortalité des embryons. Il n'y a donc pas eu, au terme de la discussion, une « bonne » solution qui se soit dégagée mais une analyse des raisons des échecs et une relativisation de ces derniers, les trois solutions techniques testées restant pertinentes dans leur principe.

Ce débat, qui relativise la dimension unidirectionnelle de la science et de la technique, qui laisse entrevoir une multiplicité de réponses possibles à un même problème scientifique, n'aurait pu avoir lieu si nous avions utilisé un seul type de couveuse et, pire encore, une couveuse de type professionnel comme on en propose régulièrement dans les écoles. Et il n'aurait pu avoir la même pertinence si le cahier des charges n'avait été défini avec beaucoup de rigueur. C'est parce que les élèves étaient bien au fait des contraintes à respecter et des fonctions techniques qu'ils fallait maîtriser que leur analyse des échecs a été pertinente.

Conclusion

Il ne s'agit pas ici de jeter l'anathème sur le déterminisme. Ce dernier présente un intérêt indéniable qui ne saurait être remis en question : c'est grâce à cette école de pensée que la prédiction est possible en sciences expérimentale, y renoncer reviendrait à retomber dans les errements de l'empirisme, ce qui n'est pas notre propos. Dans la transmission des savoirs cette approche est également féconde puisqu'elle permet de construire pratiquement tous les grands concepts de la biologie étudiés au collège et au lycée. Elle permet aussi un consensus méthodologique au sens où l'entend M. Develay (1995)¹⁵. Notre objectif n'est pas de dénoncer, mais d'explorer les limites d'un paradigme dont la sur-représentation conduit, de notre point de vue, à une approche partielle de la biologie¹⁶. Approche susceptible d'induire chez le citoyen une suspicion vis-à-vis de cette discipline lorsque les résultats sur un objet singulier (en médecine par exemple) viennent contredire les prédictions que les indicateurs ou

¹⁵ Une approche qui présente « *un degré suffisant d'unité et de généralité, qui ne résulte pas de conventions arbitraires mais de relations objectives que l'on confirme par des méthodes de vérification définies* » (Develay, 1995, p. 18)

¹⁶ Et probablement aussi de la physique et de la chimie mais il appartient aux physiciens et aux chimistes de se prononcer à ce sujet.

les symptômes permettaient de faire lorsque l'on applique en toute rationalité un savoir censé être universel. Informer donc les enseignants sur les limites du déterminisme réductionniste et les amener à profiter de la présence dans les programmes de notions qui se prêtent particulièrement à une approche non strictement déterministe pour sensibiliser les élèves à une autre manière d'envisager les sciences expérimentales : comme un outil susceptible d'expliquer des interactions complexes aux résultats non totalement prédictibles (même s'ils peuvent être prévisibles). Et que cette impossibilité à prédire ne soit pas pour autant interprétée comme une carence de la connaissance que la recherche comblera un jour, mais qu'elle est bien une propriété intrinsèque du mécanisme étudié du fait de la variabilité des individus soumis à ce mécanisme et des conditions dans lesquelles ce mécanisme opère. La biologie ne doit pas plus renier la part de son héritage associée au déterminisme qu'elle ne doit y rester totalement inféodée.

Bibliographie

- BEDART-NAJIE ., 2000, *La technologie au cycle 3*, collection Pédagogie, Retz, Paris.
- DARLEY, B. (1998), *L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ?*, Aster n°26, p. 85-108.
- DEVELAY, M. (1995), Le sens d'une réflexion épistémologique, in M. Develay, *Savoir scolaires et didactiques des disciplines : une encyclopédie pour aujourd'hui*, Paris : ESF, p.17-31.
- FABRE, M. (1999), *Situations-problèmes et savoirs scolaires*, PUF, Paris
- GIORDAN, A. (1978), *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*, Paris : Le Centurion.
- JOHSUA, S. & DUPIN, J.J.(1993), *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris : P.U.F.
- KAHN, P. (1999), *De l'enseignement des sciences à l'école primaire ; l'influence du positivisme*, Paris : Hatier Formation.
- KUHN T., 1962, *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, Paris, 1983
- LAPLACE, P. S. (1820), *Œuvres Complètes*, vol.7, <http://mathdoc.emath.fr/>
- MORANGE, M. (2003), Une causalité éclatée, in L. Viennot et C. Debru, *Enquête sur le concept de causalité*, Paris : PUF, p. 161-177.
- ORANGE RAVACHOL, D. & RIBAUT A. (2006), La classification du vivant à l'école : former l'esprit scientifique ou inculquer la « bonne » solution ?, *Grand N* n°77, p. 91-107.
- ORLANDI, E. (1991), Conception des enseignants sur la démarche expérimentale, *Aster* n°13, p. 111-132.
- POPPER, K. (1985), *Conjectures et réfutations*, Paris : Payot.
- RABARDEL, P. (1995), *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*, Paris : Armand Colin.
- RICARD J. (2003), Emergence, organisation et causalité dans les systèmes biologiques, in L. Viennot et C. Debru, *Enquête sur le concept de causalité*, Paris : PUF, p. 179-195
- RUMELHARD, G. (1995), De la biologie contemporaine à son enseignement, in M. Develay, *Savoir scolaires et didactiques des disciplines : une encyclopédie pour aujourd'hui*, Paris : ESF, p. 317-337.
- VIENNOT, L. (2003), Raisonnement commun en physique : relations fonctionnelles, chronologie et causalité, in L. Viennot et C. Debru, *Enquête sur le concept de causalité*, Paris : PUF, p. 7-29.

Annexe :

Place du déterminisme réductionniste dans les programmes français d'enseignement des sciences expérimentales au collège et au lycée

« *l'approche de ces disciplines (la physique et la chimie) au cours des années de lycée doit marquer une certaine rupture (par rapport à l'empirisme) : c'est en effet au lycée qu'il faut amener les élèves à comprendre que le comportement de la nature s'exprime à l'aide de lois générales qui prennent l'expression de relations mathématiques entre grandeurs physiques bien construites(...) c'est ce langage (mathématique) qui permet de faire des prédictions quantitatives.* » (Principes directeurs de l'enseignement de la physique, extrait des nouveaux programmes 2007). Le raisonnement privilégié est bien celui du déterminisme, de la causalité simple expliquant ou prédisant un phénomène physique ou chimique dans le strict cadre d'une loi définie comme « générale », comme le confirme cet extrait du programme de Terminale : « *En classe de terminale est mise en place une compréhension plus fine de l'évolution des systèmes, en étudiant celle-ci quantitativement, tant sur le plan expérimental que théorique. (...). La mise en place d'une méthode numérique itérative permet de mieux ancrer l'idée du déterminisme et de la causalité : l'état d'un système à un instant donné dépend de son état aux instants antérieurs et des actions qui s'exercent sur lui.* » (Programmes de physique et chimie, 2001, p.75)

En SVT le déterminisme est indissociable du réductionnisme : « *La matière vivante est constituée d'atomes qui ne sont pas différents dans leur nature de ceux qui constituent la matière inerte. Son organisation fait intervenir un niveau d'organisation qui lui est particulier, celui de la cellule, elle-même constituée d'un grand nombre de molécules et siège de transformations chimiques (...)* **L'unité du monde se traduit par l'universalité des lois qui permettent de décrire ses constituants** » (Programmes du collège, 2007, p.1).

« Il (*l'élève*) participe à la construction de son savoir en même temps qu'à la formation de son esprit en s'impliquant aussi bien dans l'énoncé de la question que dans la recherche de la réponse. En continuité directe avec les évolutions de la didactique de la discipline des dernières années, l'élève est ainsi mis dans une situation de recherche (fondement de la démarche « par problème ») dont le but n'est pas de mimer la véritable recherche scientifique, ni de prétendre faire re-démontrer en quelques minutes ce que plusieurs générations de chercheurs ont peiné à découvrir, mais simplement de faire comprendre ce qu'est cette démarche scientifique, faite de doute et d'imagination, d'habileté intellectuelle et manuelle, qui permet à la science de se construire par l'incessante confrontation des faits et des idées. Cette confrontation des idées et des faits passe le plus souvent par une approche pratique : mise en oeuvre de techniques appropriées d'observation, d'analyse, de description, de compte rendu ; conception, réalisation de protocoles expérimentaux ; analyse et critique des résultats. » (**Program**

Si vous désirez citer ou faire référence à ce contenu, ce fichier ou cette page, merci d'en signaler la source et l'url : <http://>

© Institut national de recherche pédagogique