



Éditorial

Jacques BESANÇON et Andrée TIBERGHIE

Le supplément “Les métiers du Physicien” joint à ce troisième numéro de *Didaskalia* rassemble des communications présentées lors d’un colloque organisé par la *Société Française de Physique* en juillet dernier. Ces regards de praticiens de la physique, d’historiens, de sociologues, nous informent sur la diversité et les évolutions des pratiques professionnelles de la physique.

Cette co-édition est une première manifestation tangible de notre volonté de faire que *Didaskalia* participe au renforcement des liens entre praticiens et didacticiens des sciences et des techniques. De tels échanges ne peuvent, nous semble-t-il, que contribuer à ce que les uns et les autres soient en mesure d’exercer de manière éclairée leur responsabilité dans la diffusion des sciences et des techniques.

Nous avons par ailleurs demandé à Piet Lijnse, professeur au *Centre for Science and Mathematics Education* d’Utrecht, d’exprimer dans ce numéro son point de vue sur l’orientation des recherches en didactique des sciences. Le texte qu’il nous propose relance un débat important : celui des relations entre recherche et intervention. La question n’est certes pas nouvelle, elle n’en est pas moins d’actualité.

Nous souhaitons que ce “point de vue” soit à l’origine d’un débat dont *Didaskalia* pourrait être le support. Dans cette perspective, nous vous invitons à nous adresser vos contributions (cinq mille signes maximum) ; celles-ci pourront donner lieu à publication.

Analogies et enseignement des sciences : une analogie thermique pour l'électricité

Jean-Jacques DUPIN, Samuel JOHSUA

Centre Interdisciplinaire de Recherches :
Apprentissage, Didactique, Évaluation (CIRADE)
Université de Provence, case 92
13331 Marseille cedex 3

Résumé

Les analogies jouent un rôle important dans la construction des connaissances. Leur usage dans l'enseignement, quoique fréquent, ne va pas sans poser de sérieux problèmes : identification des éléments pertinents et des limites, transfert entre domaines... Une analogie thermique pour l'enseignement de l'électricité est présentée ici, montrant à la fois les éléments positifs que l'on peut en attendre et les difficultés rencontrées.

Mots clés : analogies, électricité, thermique, conceptions, modélisation.

Abstract

Analogies are very important in the construction of knowledge. But their use in science teaching, although quite frequent, is problematic : identifying good elements and limits, transferring from a reference to a target domain... The present article deals with a thermal analogy for teaching electricity, showing its positive and negative side effects.

Key words : analogies, electricity, thermal, conceptions, model.

INTRODUCTION

De solides arguments tant épistémologiques que d'ordre psychocognitif jouent en faveur de l'utilisation des analogies dans l'enseignement des sciences. Déjà, l'histoire des sciences a largement montré le rôle positif des analogies dans la construction des savoirs scientifiques. De plus, le développement de l'approche constructiviste dans l'étude des phénomènes d'apprentissage chez l'enfant a accrédité l'idée que tout savoir nouveau est acquis à travers un processus complexe de re-création. Ce savoir nouveau n'est pas seulement empilé sur l'ancien dans un autre registre de mémoire : il y a reconstruction continue, le savoir nouveau étant organisé à partir du savoir ancien, ce dernier pouvant être lui-même modifié par la "compréhension" du nouveau. Dans cette vision, il est clair que l'analogie, en permettant la mise en place d'un degré élevé d'organisation des savoirs, devrait jouer un rôle très important.

Le raisonnement analogique apparaît quand, pour résoudre un problème donné, un sujet se réfère à un autre problème qu'il connaît mieux (Hashweh, 1986). Il y a mise en relation d'un domaine-cible (le problème nouveau posé) et d'un domaine de référence (Kircher, 1977 ; Cauzinille-Marmèche et al., 1985). La mise en correspondance n'est possible que si les deux domaines présentent des ressemblances (entre systèmes, grandeurs, propriétés...) que le sujet est capable de mettre à jour. Si le sujet reconnaît une structure commune aux deux domaines, il pourra utiliser un raisonnement analogique en appliquant au domaine-cible certaines propriétés ou relations du domaine de référence.

La qualité de l'isomorphisme entre ces deux domaines est déterminante. Un isomorphisme complet permet un raisonnement analogique complètement fiable : le transfert des propriétés du domaine de référence vers le domaine-cible donne des informations sûres. Un isomorphisme partiel peut entraîner des risques d'erreurs, surtout quand les limites n'ont pas été bien reconnues.

Le raisonnement analogique est donc puissant car il peut offrir une bonne heuristique de recherche pour résoudre un problème. Mais il présente aussi des limites car il ne s'agit pas d'un raisonnement rigoureux.

LES CONTRAINTES DE L'UTILISATION DES ANALOGIES

L'utilisation du raisonnement analogique suppose que l'on ait perçu des ressemblances entre un problème nouveau et un ancien déjà connu. Mais ces deux problèmes ne sont pas des fac-similés : leur ressemblance se manifeste par un isomorphisme de structure. Le sujet doit donc être capable de faire la comparaison à un niveau d'abstraction élevé. Aussi, l'isomorphisme ne peut être reconnu que s'il existe une structuration importante des connaissances antérieures permettant ce passage à l'abstraction ; et même si les deux

problèmes sont strictement isomorphes, le sujet doit passer par dessus "l'habillage" des problèmes et les variations sémantiques qui en découlent pour pouvoir analyser la structure commune des deux problèmes (Cauzinille-Marmèche et al., 1985). En outre, en cas d'isomorphies partielles, se rajoutent des difficultés liées à la délimitation des caractères communs et des différences. Dans les deux domaines, il faut alors trouver les relations isomorphes et celles qui ne le sont pas.

On comprend donc bien que tout ceci constitue un travail fort difficile qui fait que, dans l'enseignement, l'utilisation de l'analogie ne tient pas toujours ses promesses. Dans celui des sciences et de l'électricité en particulier, de nombreuses études permettent de dresser un inventaire complet des succès et difficultés rencontrés : transfert entre les deux domaines cible et de référence (Tenney & Gentner, 1984), difficultés conceptuelles dans les deux domaines (Johnstone & Mughol, 1976), analogies "positives et négatives" (Hesse, 1966), importance de la bonne domination de la référence (Schweddes, 1984), confusion cible-référence (Kircher, 1984), liste générale des contraintes (Glynn, 1991)... Par exemple, une revue de l'utilisation de l'analogie hydraulique pour l'électricité peut être trouvée dans Dupin & Johsua (1989), avec un bilan final assez mitigé.

Nous noterons ici trois idées fortes présentes dans la littérature :

- pour faciliter le transfert référence / cible, il faut présenter des problèmes épurés, dépouillés du maximum de caractères pouvant parasiter la mise en évidence des caractéristiques pertinentes pour les problèmes à résoudre ;

- l'utilisation d'une analogie est efficace si elle est répétée : la présentation de plusieurs problèmes, l'utilisation renouvelée, permettent une analyse des ressemblances et des différences facilitant la construction d'un schéma applicable à la classe des problèmes rencontrés ;

- l'analogie peut être utilisée en jouant surtout sur son rôle heuristique. Elle ne donne plus alors une conclusion certaine mais seulement une approche du probable ou du possible. Le domaine de référence et le domaine-cible peuvent même être très différents avec des isomorphismes partiels ; l'analogie permet alors de doter l'objet étudié de nouvelles propriétés en utilisant principalement l'aspect métaphorique et pas forcément toutes les possibilités relationnelles. Une telle utilisation peut être très inventive mais elle est aussi plus dangereuse, nécessitant de délimiter les domaines de validité de l'analogie.

L'ANALOGIE MODÉLISANTE

Nous avons utilisé à des fins d'enseignement de la physique ce que nous appelons "*l'analogie modélisante*" (Dupin & Johsua, 1989). Celle-ci doit permettre d'introduire dans le domaine-cible une idée nouvelle, dans une forme concrète. Elle sera utilisée pour son rôle heuristique d'image, de méta-

phore. Le domaine de référence doit être moins complexe (ou en tout cas plus familier) que le domaine-cible, pour que le sujet accepte aisément d’y travailler.

L’analogie doit avoir une fonction “descriptive”. Elle doit permettre de rendre plausible une explication dans le domaine-cible même si le sujet la refuse *a priori* : “si ça se passe comme ceci dans ce domaine, alors il est possible que cela se passe de la même façon dans cet autre domaine...”

Le système doit être adaptable à de nombreuses situations. Aussi doit exister un grand isomorphisme structurel entre les deux domaines, même si l’on n’utilise pas explicitement cet isomorphisme : c’est une garantie de la justesse des aspects métaphoriques et de l’étendue des situations pouvant être étudiées.

Les relations structurant le domaine de référence doivent être facilement accessibles pour permettre un transfert : on doit pouvoir facilement passer sur “l’habillage” du problème. Aussi, l’analogie ne portera pas sur une situation réelle, complexe, mais sur une situation expurgée, idéalisée, où la structure n’est pas masquée. Nous proposons des “*expériences pensées*” et non de nouvelles expériences empiriques. Si des analogies “négatives” existent, il est utile de les étudier spécifiquement, mais elle ne doivent pas être très nombreuses et doivent être visibles facilement.

Supposons qu’un phénomène soit présenté aux élèves et que ceux-ci (et le maître) aient à avancer différentes hypothèses pour l’interpréter. L’analogie est un des moyens permettant d’introduire une hypothèse nouvelle qui n’apparaîtrait pas spontanément dans le domaine-cible de départ. L’utilisation de l’analogie permet aussi une démarche prédictive : à travers la discussion et l’analyse, l’élève doit anticiper le fonctionnement du système étudié. La preuve de la véracité ou de l’erreur est apportée par une expérience réalisée réellement dans le domaine-cible, jamais dans le système de référence qui reste toujours une réalité pensée idéalisée. Il n’y a donc pas confusion entre ce qui est étudié : c’est bien sur le domaine-cible que l’on travaille.

Avec la description sommaire faite ci-dessus, on peut voir que, pour nous, l’utilisation de l’analogie est inséparable, en situation de classe, de l’introduction du “débat scientifique” (Legrand, 1988 ; Johsua & Dupin, 1989) autour des diverses hypothèses émises, débat entre les élèves eux-mêmes ou avec le maître. Cela nécessite aussi une modification du statut de l’expérience qui, souvent, sert alors à sanctionner une hypothèse. Elle n’est plus le préalable obligé du bon cours... mais plutôt une étape intermédiaire décisive.

Cette démarche a été utilisée pour un enseignement d’électricité en courant continu. Deux analogies ont été testées : l’une mécanique, l’autre thermique. La première ayant été plus abondamment décrite (Johsua, 1985 ; Dupin & Johsua, 1989 ; Johsua & Dupin, 1989 ; Dupin & Johsua, 1993), nous parlerons ici de l’analogie thermique.

L'ANALOGIE ENTRE LES CONDUCTIONS THERMIQUE ET ÉLECTRIQUE

La première moitié du XIX^e siècle a vu se développer l'étude des phénomènes de propagation. Précédées par la théorie de la propagation de la lumière dans l'éther, les propagations des vibrations dans les milieux élastiques et de la chaleur dans les conducteurs thermiques sont modélisées entre 1820 et 1840. En particulier, Fourier propose un modèle mathématisant la propagation de la chaleur le long d'une barre.

En 1827, Ohm adapte le formalisme mathématique de Fourier à la conduction électrique et fait ainsi franchir un pas décisif grâce à cet emprunt analogique. Il compare le courant électrique (ou flux d'électricité) au flux de chaleur dans une barre. Pour compléter l'analogie, il introduit une nouvelle grandeur électrique, "*la force électroscopique*" équivalente à la différence de température chez Fourier. Le flux d'électricité entre deux points est proportionnel à la différence de force électroscopique : ceci est connu sous le nom de "loi d'Ohm". Il introduit aussi le concept de "*résistance électrique*". Ce modèle, bien que s'appuyant sur la notion de courant électrique d'Ampère, heurte les conceptions encore dominantes : pour beaucoup d'auteurs contemporains, la pile est un réservoir d'électricité qui se décharge dans le conducteur (Rosmorduc, 1987). Les modèles dominants en électricité menaient alors à une impasse et il a fallu ce saut vers la conservation du courant et la notion de tension ("*force électroscopique*") pour avancer.

L'analogie formelle entre les conceptions électrique et thermique pour des corps homogènes et isotropes peut être résumée comme suit. A la tension électrique correspond la différence de température ; au courant électrique, le courant de chaleur ; à la résistance électrique, la résistance thermique. Ces grandeurs sont reliées entre elles par des lois (Ohm et Fourier) formellement identiques. De même, les relations donnant les résistances équivalentes à des associations de conducteurs sont isomorphes.

USAGE DE CETTE ANALOGIE EN SITUATION D'ENSEIGNEMENT

Cette analogie a été utilisée par deux professeurs dans leurs classes de seconde (niveau 10, âge moyen 16 ans) d'un lycée d'enseignement général à Marseille. Le temps consacré traditionnellement à cette partie du programme a été respecté ainsi que son contenu officiel, imposé réglementairement en France. L'utilisation de l'analogie ne devait pas entraîner un allongement du temps passé à l'étude de l'électricité ou une amputation de certaines parties du cours. Cela nous a paru essentiel pour pouvoir mener une évaluation par comparaison avec des classes-témoins.

Modèle à consommation du courant (Mc Dermott & Van Zee, 1984), modèle du générateur à courant constant (Dupin & Johsua, 1987), raisonne-

ment séquentiel (Closset, 1983 ; Shipstone, 1984), absence d'utilisation du concept de tension : toutes ces conceptions subsistent encore majoritairement chez les élèves du niveau 10 et bien souvent coexistent. Notre objectif était de combattre explicitement ces conceptions et de favoriser les raisonnements en tension, de développer le modèle du générateur de tension parfait délivrant une force électromotrice constante. Il fallait donc bien situer les relations existant entre trois concepts : tension, intensité et résistance du circuit électrique.

Dans l'enseignement traditionnel, tel que nous avons pu l'observer dans des classes ou dans les manuels scolaires, ces grandeurs sont introduites de façon très opératoire (l'intensité, c'est ce que mesure l'ampèremètre, puis c'est le "flux de charges" ; la tension, c'est ce que mesure le voltmètre, puis c'est "une différence d'état électrique"). Ceci ne permet pas de structurer les relations entre ces grandeurs. Bien souvent, les élèves n'étudient que des portions de circuit : l'étude du générateur ne venant que vers la fin, c'est tardivement que l'on considère des circuits complets, condition nécessaire pour considérer le circuit comme un système.

Pour notre part, nous avons fait le choix d'introduire une relation de "causalité linéaire" (Halbwachs, 1971) : un générateur de tension est la cause du déplacement des charges électriques. Suivant les caractéristiques du circuit dans son ensemble, ces charges se déplacent plus ou moins facilement. C'est dans ce cadre que le recours à l'analogie thermique est testé : de même que la tension aux bornes du générateur donne naissance à un courant électrique dans un circuit fermé, de même une différence de température entre deux corps donne naissance à un courant de chaleur à travers un conducteur thermique.

D'un côté, la notion de courant électrique s'installe facilement chez les élèves, alors que celle de tension électrique a du mal à émerger. De l'autre, la notion de différence de température semble être intégrée plus facilement que celle de courant de chaleur (Driver et al., 1985). Il existe donc une complémentarité des conceptions des élèves dans ces deux domaines. L'hypothèse est d'utiliser ce "croisement", les concepts en correspondance dans l'analogie occupant une place opposée dans une échelle de difficulté : en s'appuyant sur la notion de courant électrique, faire ressortir celle de courant de chaleur ; en s'appuyant sur la notion de différence de température, faire ressortir celle de tension électrique.

Si le circuit électrique est nécessairement fermé, il n'en est pas de même pour le circuit thermique. Il est préférable de proposer aux élèves une situation analogique exhibant la même "fermeture" : un courant de chaleur circulant en circuit fermé. Il faut en outre que cette situation soit connue et accessible...

Dans cette expérimentation, les notions de courant et de tension ont été introduites selon les pratiques habituelles des professeurs, de façon

essentiellement expérimentale, la tension étant "ce que mesure le voltmètre", ou ce qui permet la déviation d'un faisceau d'électrons dans un tube à vide. Parallèlement, dans le cours de chimie, les élèves travaillent sur température et chaleur. Là aussi, introduction expérimentale permettant d'arriver à la formulation : le corps plus chaud cède de la chaleur au corps plus froid ; la température du premier diminue, celle du second augmente jusqu'à ce que les températures soient égales.

L'analogie est alors introduite, pour être exploitée sous sa forme métaphorique. Le professeur demande aux élèves ce qu'ils savent des réfrigérateurs. Il / elle note au tableau les réponses lui paraissant importantes de façon à préparer la forme épurée de l'analogie : température intérieure au réfrigérateur maintenue constante et inférieure à la température ambiante de la salle ; isolation thermique des parois, isolant parfait, mauvais isolant, fuites, rôle du thermostat, du moteur, mise en évidence des échanges thermiques, etc.

A partir de ces échanges oraux, le professeur propose un schéma idéalisé. Le réfrigérateur est considéré comme une enceinte close, entourée d'un isolant thermique parfait. L'ensemble des "fuites thermiques" est ramené à un défaut dans l'enceinte parfaite par où se fait l'échange de chaleur. La température externe T_1 de la pièce est supposée constante, ainsi que la température interne T_2 . Il faut donc faire ressortir de la chaleur pour maintenir T_2 constante et c'est le rôle du moteur et de toute la machinerie autour de lui. Une schématisation du modèle est présentée (figure 1).

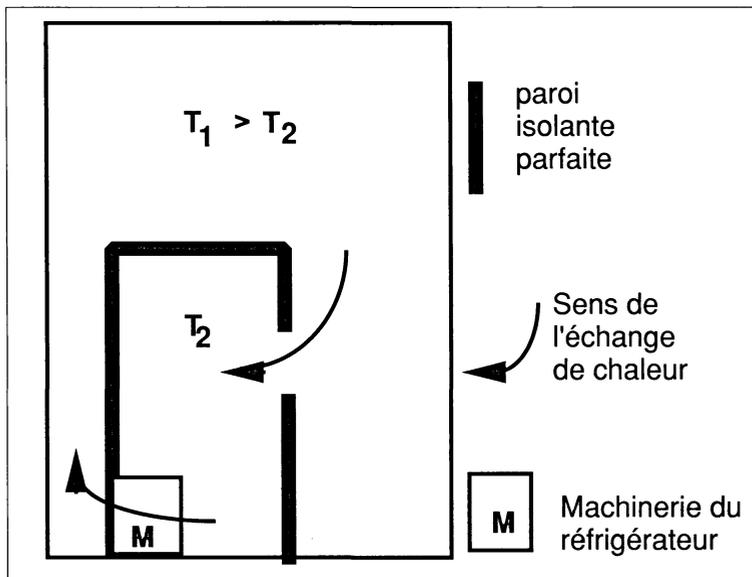


Figure 1 : L'analogie du réfrigérateur.

La séance suivante est consacrée à utiliser le modèle précédent pour faire des prédictions dans le cas de situations nouvelles. Le professeur propose les situations, les élèves doivent prévoir les réponses :

– l'isolation thermique est parfaite. La résistance thermique est infinie. Aucun courant de chaleur ne circule ;

– on crée un défaut dans l'isolation. Un courant de chaleur s'établit. Une relation qualitative est introduite : si la différence de température est maintenue constante, plus la fuite est importante (*i.e.* plus la résistance thermique est faible), plus le courant de chaleur est important ;

– on peut faire diminuer le courant de chaleur en réduisant la "fuite" avec une plaque isolante non parfaite (figure 2). La différence de température est maintenue constante par le "moteur". Si on rajoute une seconde plaque non parfaite (le professeur précise : *"on dira qu'on a deux isolants en série..."*), le courant de chaleur diminue. Les élèves prévoient aussi que le courant de chaleur à travers les deux plaques en série est le même ;

– si l'on crée une deuxième fuite dans la paroi isolante parfaite (figure 3), le courant de chaleur total, somme des courants à travers chaque fuite, est plus grand qu'avec une seule fuite. Le courant de chaleur à travers la première fuite n'est pas modifié par la création de la seconde : c'est le courant total qui varie. La différence de température de part et d'autre de chacune des deux fuites est la même. Le professeur précise : *"on dira que les deux fuites sont en parallèle, ou en dérivation."*

A cette étape, le débat paraît assez fortement dirigé. Le professeur présente la situation, sélectionne les prédictions des élèves, les valide ou non après une courte discussion. Pour chaque situation, il / elle propose à la fin du débat une schématisation standard et fait écrire sur le cahier des élèves une présentation synthétique des prédictions.

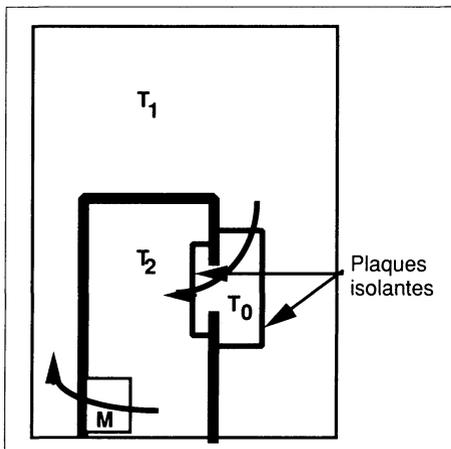


Figure 2 : Éléments résistants en série.

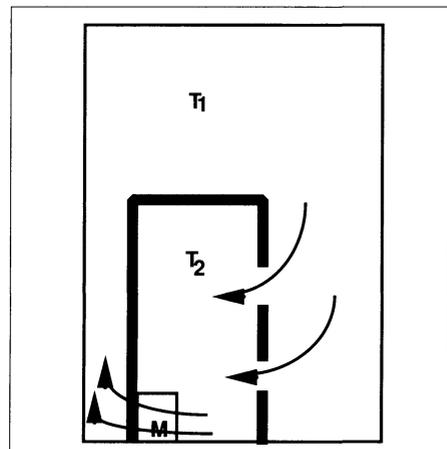


Figure 3 : Résistances en parallèle.

Lors d'une séance suivante, le professeur introduit les correspondances entre le système fermé réfrigérateur - moteur - pièce et le circuit électrique à partir de la figure 1. Les termes de l'analogie sont les suivants :

moteur du réfrigérateur	générateur de tension
différence de température	tension ou différence de potentiel
température	potentiel local
courant de chaleur	courant électrique
fuite thermique	branche du circuit électrique
résistance thermique	résistance électrique

Les élèves doivent établir la relation qualitative liant la tension aux bornes du générateur et l'intensité du courant, compte tenu de la grandeur de la résistance : plus la résistance est grande, moins le courant est important. A ce premier niveau de l'utilisation de l'analogie, aucune difficulté insurmontable n'apparaît dans la classe et la quasi-totalité des élèves est capable d'établir cette relation.

Les élèves doivent ensuite établir le schéma électrique analogue à la figure 2. Très rapidement, certains proposent le bon schéma. L'équivalence des systèmes peut être établie et plusieurs résultats prévus qualitativement : la tension reste la même aux bornes du générateur, le courant est moins fort quand on ajoute une deuxième résistance en série, le courant est le même dans les deux résistances.

Au début de la séance suivante, le professeur distribue une fiche récapitulative, sous forme de "texte à trous" que les élèves doivent compléter par binôme, de façon à bien fixer les termes de l'analogie. Ceci ne soulève pas de difficultés majeures, sauf pour l'équivalent du court-circuit qui n'est pas trouvé. Cette situation n'ayant jamais été évoquée, il aurait fallu posséder une grande maîtrise de l'analogie pour y répondre (résistance thermique nulle, fuite "infiniment grande", porte du réfrigérateur ouverte, températures intérieure et extérieure égales...).

Le professeur passe ensuite au circuit thermique en parallèle (figure 3). Là-aussi, le schéma électrique analogue est rapidement trouvé, les relations qualitatives importantes synthétisées : même tension aux bornes des deux résistances en parallèle, courants différents dans chacune d'entre elles, courant total plus grand avec deux résistances qu'avec une seule, etc.

Le développement de l'analogie s'arrête là : utilisation de son aspect "modélisant" pour structurer des relations opératoires liant les trois notions de tension, intensité et résistance. Le professeur revient ensuite à une approche plus classique pour établir les lois quantitatives en électricité : additivité des courants et des tensions, loi d'Ohm...

Le professeur, après avoir établi une loi, s'efforce de la commenter qualitativement par une référence à l'analogie thermique. Cependant, à de très

rares exceptions près, les élèves ne font jamais spontanément usage de l'analogie. Si le professeur, face à un élève en difficulté, dit : "*comment cela se passait avec le réfrigérateur ?*", alors, la plupart du temps, l'élève peut faire fonctionner l'analogie. Mais cette stimulation est toujours nécessaire, révélant sans doute une difficulté dans la maîtrise ou dans le transfert de l'analogie.

ÉVALUATION DES RÉSULTATS

Les performances des élèves de ces deux classes ont été comparées à celles d'autres élèves-témoins. Le groupe expérimental comprenait 87 sujets, le groupe témoin 99. L'évaluation a été faite à l'aide d'un questionnaire papier-crayon comportant 44 items, avant et après enseignement. Ce questionnaire n'est pas nouveau, il a par ailleurs servi à évaluer les conceptions d'élèves avant et après enseignement. Il s'agit donc d'un domaine bien connu. Les résultats obtenus, en particulier par les classes-témoins, sont en accord avec ceux trouvés dans des études antérieures par nous-mêmes (Dupin & Johsua, 1989) ou par d'autres auteurs (Rhöneck & Völker, 1984). Nous cherchons à voir ici si l'action sur quelques variables didactiques limitées produit des effets décelables et dans quel sens agissent les modifications. Nous ne présentons donc pas une analyse exhaustive des résultats, mais donnons quelques exemples illustrant les tendances les plus significatives concernant les notions-cibles de notre expérimentation (tension / courant, générateur de courant constant).

Dans les tableaux de résultats sont données :

- les performances avant enseignement de toutes les classes regroupées, notées G10 dans les tableaux (aucune différence significative entre les diverses classes) ;
- les performances après enseignement en séparant classes expérimentales (EXP10) et témoins (T10) ;
- les performances d'étudiants en première année d'université (134 sujets) ayant choisi une filière "Mathématiques-Physique-Chimie" (U1) de façon à pouvoir situer les résultats des élèves testés.

Courant et tension dans des circuits ouverts ou fermés

Plusieurs items portaient sur cette question. Ils étaient dispersés dans le questionnaire mais nous en regroupons ici certains, notés Q₁, Q₂ et Q₃ (voir annexes). Il s'agissait de tester si les sujets pouvaient diagnostiquer l'existence ou non d'une tension ou d'un courant dans diverses situations plus ou moins complexes. La réponse incorrecte la plus répandue (avant comme après enseignement) est la suivante : il y a bien un courant et une tension dans le cas C où la lampe est éclairée. Mais il n'y a ni courant ni tension dans les cas

A et B. Les réponses erronées à la question Q₂ (un courant circule même dans le circuit ouvert) ont leur correspondant chez une petite minorité d'élèves qui pensent de même qu'un courant existe dans le cas Q₁B. Mais alors une tension existe aussi...

Le comportement toujours similaire du courant et de la tension se retrouve dans les réponses erronées à la question Q₃. Autrement dit, le schéma des réponses incorrectes à ces questions semble fondé sur l'idée que le courant et la tension apparaissent toujours ensemble, comme des notions fort peu différenciées. Ce résultat est d'ailleurs classique et bien établi dans la littérature (Shipstone et al., 1988).

Le tableau 1 donne les pourcentages de réponses correctes : 1/3 des élèves-témoins de seconde peuvent répondre à Q₁ (moins de 2/3 pour les étudiants à l'université), montrant ainsi qu'elle est bien plus difficile qu'il n'y paraît ! Les sujets des classes expérimentales réussissent mieux (75 % de réussite), se plaçant même au dessus des sujets universitaires. Ces meilleurs résultats sont confirmés pour les questions Q2 et Q3. L'essentiel de la différence entre les tests et les témoins provient des questions portant sur la tension pour Q1 et Q3.

Questions	G10 avant enseignement	T10 après enseignement	EXP10 après enseignement	U1
Q1	24	33	75	58
Q2	38	27	51	58
Q3	22	41	58	77

G10: toutes classes de grade 10 confondues, avant enseignement
T10: classes-témoins (effectif : 99)
EXP10: classes expérimentales (effectif : 87)
U1: 1^{re} année d'université scientifique (effectif : 134)

Tableau 1: Pourcentages de réponses correctes aux questions Q1, Q2 et Q3.

Le générateur de courant constant

Un générateur parfait de tension maintient une tension constante entre ses bornes et délivre un courant variable suivant la résistance du circuit auquel il est connecté. Or de nombreux élèves considèrent que le générateur délivre un courant constant, indépendant du circuit. Le courant devient une caractéristique du générateur. Cette conception étant fort répandue (Dupin & Johsua, 1987), nous l'avons recherchée par plusieurs questions dont deux sont présentées.

Question “déclarative”

Les sujets devaient donner leur opinion sur deux affirmations :

“Dites ce que vous pensez des phrases suivantes :

1 - Une pile délivre le même courant électrique quel que soit le circuit.

2 - La tension aux bornes d'une pile est la même quel que soit le circuit.”

Comme il avait été précisé que la pile était considérée comme un générateur parfait (résistance interne négligeable), les réponses correctes étaient : faux en 1, vrai en 2.

Si les classes expérimentales réussissent mieux que les classes-témoins sur la question de la tension (73 % contre 54 % de bonnes réponses), les réponses concernant le courant sont du même ordre (47 % pour les deux : la moitié des deux échantillons considère que la pile délivre un courant constant). Aussi le résultat pour l'ensemble n'est pas très différent (expérimentales : 46 %, témoins : 39 %).

Question opératoire dans un circuit parallèle (question Q₄ voir annexes)

Pour les tensions, on doit répondre vrai en (a) et faux en (b). Pour l'intensité, la réponse correcte est faux en (c) : le courant dans chaque lampe demeure le même ; le courant total délivré par la pile croît. Les sujets estimant que le courant délivré par la pile est constant répondront vrai en (c) (puisque le courant se partagera entre les deux lampes...). Les résultats (tableau 2) sont cohérents avant les précédents : meilleure performance concernant la tension pour les classes expérimentales, mais resserrement des résultats par rapport au “déclaratif”, résultats identiques pour le courant, donc résultats peu différents sur l'ensemble de la question.

	G10 avant enseignement	T10 après enseignement	EXP10 après enseignement	U1
Générateur de courant constant	66	66	65	76
Juste pour le courant	30	33	35	22
Juste pour la tension	31	48	58	65
Juste pour courant et tension	17	17	22	20

Tableau 2 : Pourcentages de réponses correctes à la question Q4.

DISCUSSION

L'analyse de l'ensemble des items conduit à remarquer que des progrès sont réalisés par tous les élèves (classes témoins et expérimentales) surtout sur les questions concernant la tension. Les classes expérimentales pour lesquelles, par l'analogie thermique, ont été déployés de grands efforts pour asseoir cette notion ont plus progressé que les autres. Les classes expérimentales présentent un avantage important sur les questions de diagnostic courant / tension ou sur les questions déclaratives. Sur les questions opératoires les résultats de deux échantillons sont comparables : si les expérimentales progressent pour la tension, il n'y a rien de gagné sur la question du courant. Lorsque l'élève doit mettre en œuvre ces notions dans une situation un peu délicate, il semble bien utiliser, dans tous les cas, le modèle qui s'impose comme dominant : le générateur de courant constant. Et même, paradoxalement, l'insistance apportée dans les classes expérimentales sur la constance de la tension aux bornes de la pile semble renforcer ce modèle. Finalement, rien ne varie : tension et courant sont constants et *"ceci n'est pas étonnant puisque la loi d'Ohm dit $V = R I$ "* ! L'élève peut récupérer son modèle spontané en l'habillant d'une justification "théorique", en jouant sur la confusion entre grandeurs constantes et variables dans un circuit donné ou lorsqu'on change de circuit (Viennot, 1985).

Il semble bien que les résultats obtenus ici soient moins bons que ceux obtenus avec l'analogie mécanique du "petit train". Il est cependant difficile d'imputer de façon certaine ceci à une moins bonne "qualité" de l'analogie thermique. En effet, les conditions générales des deux expérimentations n'étaient pas identiques en tous points. Plusieurs variables didactiques étaient différentes et cela a pu avoir des effets importants : introduction opératoire du courant et de la tension, moins bonne maîtrise du "débat scientifique", arsenal d'expériences-tests moins élaboré... Nous nous heurtons bien là à une difficulté majeure : comment maîtriser l'ensemble des variables didactiques pour analyser la reproductibilité des phénomènes créés et évaluer les résultats obtenus ? Et comment faire pour que cette exigence soit supportable par le professeur en exercice... ?

Malgré les limites indiquées, on peut cependant tirer quelques conclusions optimistes. Le passage par la tension constante aux bornes de la pile est une étape nécessaire ; elle n'est pas suffisante. Il nous semble que l'on peut schématiser en plusieurs étapes les progressions cognitives des sujets :

- étape 1 : le générateur est à courant constant. La tension est variable ou n'est même pas un concept utilisé ;
- étape 2 : la tension aux bornes de la pile est constante ;
- étape 3 : le courant débité dépend du circuit ;
- étape 4 : capacité à coordonner les étapes 2 et 3 permettant une mise en œuvre du modèle.

La majorité des élèves des classes expérimentales atteint l'étape 2, alors que les autres restent en 1. Ils ont donc progressé d'un point de vue cognitif, même si cela ne se mesure pas encore dans les questions opératoires.

Les séquences étaient essentiellement conçues pour donner un sens au concept de tension et pour asseoir l'idée du générateur de tension constante. Il semble bien que cet objectif ait été atteint.

L'analogie thermique constitue un recours, une aide didactique auxquels peut faire appel le maître pour aider un élève dans une situation délicate. Elle présente l'avantage de ne pas nécessiter un investissement en temps trop important pour permettre des raisonnements qualitatifs et des prédictions transférables d'un domaine à l'autre. Cela ne signifie nullement qu'il s'agit d'une analogie meilleure que les autres - simplement qu'elle peut être utilisée de façon féconde pour combattre des blocages spécifiques.

Comme les analogies du type "*chaîne de bicyclette*" (Closset, 1983) ou "*petit train*" (Dupin & Johsua, 1989), elle permet d'introduire la force électromotrice constante aux bornes du générateur, de faire des prédictions concernant les circuits-série. Par rapport aux deux analogies précédentes, elle présente l'avantage de permettre l'étude des circuits avec dérivation et d'introduire la notion de potentiel local le long du circuit (utilisation non évoquée ici).

Certes, elle ne permet pas de dépasser à elle seule la conception du générateur de courant constant : c'est un blocage cognitif à combattre spécifiquement et qui ne relève pas typiquement de l'analogie choisie.

On pourrait enfin - et ce n'est pas un mince problème - se poser la question de l'utilisation de l'analogie électrique pour les problèmes de conduction thermique et voir si, hélas, une retombée perverse de cette analogie ne serait pas de donner une assise "théorique" à la substantialisation de la chaleur...

Une analogie peut aider à résoudre certaines questions bien délimitées. Elle ne peut prétendre tout résoudre... Il faut donc l'utiliser avec précaution. Il y a rarement des solutions miracles.

BIBLIOGRAPHIE

CAUZINILLE-MARMÈCHE E., MATHIEU J. & WEIL-BARAIS A. (1985). Raisonnement analogique et résolution de problèmes. *L'année Psychologique*, n° 85, pp. 49-72.

CLOSSET J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

DRIVER R., GUESNE E. & TIBERGHIEU A. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes, Open University Press.

DUPIN J.-J. & JOHSUA S. (1987). Conceptions of french pupils concerning electric circuits : structure and evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 24, n° 9, pp. 791-806.

DUPIN J.-J. & JOHSUA S. (1989). Analogies and "modeling analogies" in teaching. Some examples in basic electricity. *Science Education*, vol. 73, n° 2, pp. 207-224.

DUPIN J.-J. & JOHSUA S. (1989). *Expérimentations d'approches hypothético-déductives de la physique en classe de seconde*. Rapport au Ministère de l'Éducation nationale. Marseille, CRDP.

DUPIN J.-J. & JOHSUA S. (1993). Electrocinétique en classe de seconde. *TREMA*, n° 3-4, pp. 140-155.

GLYNN S.M. (1991). Explaining science concepts : a teaching-with-analogies model. In M. Glynn, R.H. Yeany, B.K. Britton (Eds), *The Psychology of Learning Science*. Hillsdale-NJ, L.E.A.

HALBWACHS F. (1971). Causalité linéaire et causalité circulaire en physique. In F. Halbwachs (Ed.), *Les théories de la causalité*. Paris, PUF, pp. 19-38.

HASHWEH M.Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, vol. 8, n° 3, pp. 229-249.

HESSE M.B. (1966). *Models and analogies in Science*. South Bend-IN, University of Notre Dame Press.

JOHNSTONE A.H. & MUGHOL A.R. (1976). Concepts of Physics at secondary level. *Physics Education*, n° 11, pp. 466-469.

JOHSUA S. (1985). *Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille 2.

JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le "débat scientifique" dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne, Peter Lang.

KIRCHER E. (1977). *Allgemeine Bemerkungen und seine Bedeutung für die Physik Didactik*. Dissertation, Kiel, IPN.

KIRCHER E. (1984). Analogies for the electric circuit ? In R. Duit, W. Jung & C.V. Rhöneck (Eds), *Aspects of Understanding Electricity*. Kiel, IPN, pp. 299-310.

LEGRAND M. (1988). Génèse et étude sommaire d'une situation co-didactique : le débat scientifique en situation d'enseignement. In C. Laborde (Ed.), *Actes du Premier Colloque Franco-Allemand de Didactique des Mathématiques*. Grenoble, La Pensée Sauvage, pp. 53-66.

Mc DERMOTT L. & VAN ZEE E. (1984). Identifying and addressing student difficulties with current electricity. In R. Duit, W. Jung & C.V. Rhöneck (Eds), *Aspects of Understanding Electricity*. Kiel, IPN, pp. 39-40.

ROSMORDUC J. (1987). *Histoire de la physique : la formation de la physique classique*. Paris, Lavoisier.

RHÖNECK C.V. & VÖLKER B. (1984). Semantic structures describing the electric circuit before and after instruction. In R. Duit, W. Jung & C.V. Rhöneck (Eds), *Aspects of Understanding Electricity*. Kiel, IPN, pp. 95-106.

SHIPSTONE D.M. & GUNSTONE R. (1984). Teaching children to discriminate between current and energy. In R. Duit, W. Jung & C.V. Rhöneck (Eds), *Aspects of Understanding Electricity*. Kiel, IPN, pp. 73-82.

SHIPSTONE D.M., RHÖNECK C.V., JUNG W., KÄRRQVIST C., DUPIN J.-J., JOHSUA S., & LICHT P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 3, pp. 303-316.

SCHWEDES H. (1984). The importance of water circuits in teaching electricity. In R. Duit, W. Jung & C.V. Rhöneck (Eds), *Aspects of Understanding Electricity*. Kiel, IPN, pp. 319-330.

TENNEY Y. & GENTNER D. (1984). What makes water analogies accessible : Experiments on the water-flow analogy for electricity. In R. Duit, W. Jung & C.V. Rhöneck (Eds), *Aspects of Understanding Electricity*. Kiel, IPN, pp. 311-318.

VIENNOT L. (1982). L'implicite en physique : les étudiants et les constantes. *European Journal of Physics*, n° 3, pp. 174-180.

ANNEXES

QUESTION Q1

Regardez les quatre figures ci-dessous : A, B, C et D.

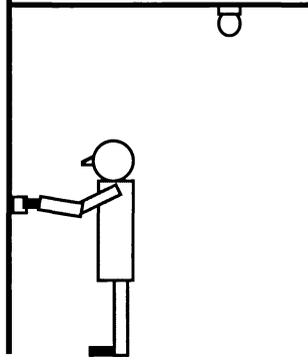
A B C D

Lisez chacune des phrases ci-dessous et cochez la case si vous pensez que la phrase est vraie. Si vous ne savez pas, mettez une croix dans la colonne correspondante.

	A	B	C	D	Je ne sais pas
1. La lampe est éclairée dans la figure...	<input type="checkbox"/>				
2. Il y a un courant électrique dans la figure...	<input type="checkbox"/>				
3. Il y a une tension électrique dans la figure...	<input type="checkbox"/>				

QUESTION Q2

Dans la figure ci-dessous, l'interrupteur est en position "marche", mais le filament de la lampe est "grillé".

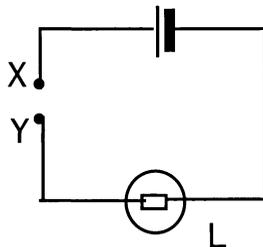


Dites ce que vous pensez de la phrase suivante :

	Vrai	Faux	Je ne sais pas
Il y a du courant électrique qui circule dans les fils menant à la lampe "grillée".	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

QUESTION Q3

Considérons le montage suivant. Il est ouvert entre X et Y.

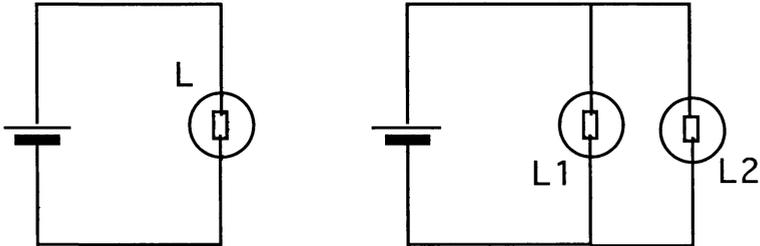


Que pensez-vous des phrases suivantes ?

	Vrai	Faux	Je ne sais pas
1. Le courant est nul dans le circuit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. La tension est nulle entre X et Y.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

QUESTION Q4

Dans les deux schémas électriques suivants, tous les éléments sont identiques (générateurs parfaits et lampes).



Que pensez-vous des phrases suivantes ?

	Vrai	Faux	Je ne sais pas
1. Les tensions mesurées aux bornes des lampes L1 et L2 sont égales.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Les tensions mesurées aux bornes des lampes L1 et L2 sont plus faibles que celle mesurée aux bornes de L.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Les lampes L1 et L2 brillent moins fort que la lampe L.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Une analogie pour comprendre l'approche statistique des incertitudes en première année d'Université

Marie-Geneviève SÉRÉ

DidaScO Université Paris XI
Centre Scientifique d'Orsay, Bât. 336
91405 Orsay cedex (France)

Résumé

Le travail présenté ici est une étude didactique d'une analogie qui a été utilisée au cours d'un enseignement de travaux pratiques destiné à introduire les étudiants de première année d'Université à l'approche statistique du traitement des mesures. L'appareil de Galton illustre le théorème central limite et met en scène, sous une forme visuelle simple à comprendre, une variable aléatoire qui suit une répartition de Gauss. Or, le résultat d'une mesure, au sein d'une série, peut également être considéré comme une variable aléatoire. C'est entre la variable aléatoire montrée par l'appareil de Galton et la variable aléatoire "mesure" qu'il y a analogie.

Par l'observation de séances de travaux pratiques comprenant un exposé sur l'appareil de Galton, nous recherchons des indices de compréhension et de reconnaissance des correspondances de l'analogie par les étudiants, puis nous cherchons à caractériser le fonctionnement de l'analogie.

Mots-clés : *analogie, statistiques, mesurage, travaux pratiques, incertitude en physique.*

Abstract

This paper presents a pedagogical study of an analogy which has been used during a sequence of laboratory work destined to introduce statistical error analysis to first year University students. Galton's apparatus illustrates the central limit theorem and exhibits, in a simple, visual way, a random variable which follows a Gaussian distribution. On the other hand, the result of a measurement, among a series of measurements, can also be considered as a random variable. There is an analogy between the random variable exhibited by Galton's apparatus and the variable "measurement".

By means of the observation of didactic sequences including a talk about Galton's apparatus, we search for evidence on students' comprehension and recognition of the analogical correspondences. Then we try to characterize how the analogy works.

Key-words : *analogy, statistics, measurement, laboratory work, uncertainty in physics.*

Le travail que nous présentons fait partie d'une recherche portant sur l'enseignement du traitement statistique des mesures en première année d'Université (DEUG Scientifique).

Les étudiants auxquels nous nous adressons ont eu l'habitude au lycée de faire une seule mesure et de l'accompagner d'un encadrement. Le fait est qu'en France cette pratique, dite "classique", est très répandue, alors qu'un autre point de vue, l'approche statistique des incertitudes de mesures, est très rarement enseigné car jusqu'à présent, il ne faisait partie ni de la formation initiale des enseignants de lycée, ni de l'enseignement des premières années d'Université. De nos jours, le développement de méthodes de mesures automatiques (il est facile de réaliser **plusieurs mesures**) et l'omniprésence des ordinateurs dans les laboratoires (les **traitements statistiques** sont facilités), rendent indispensable, aux yeux de nombreux physiciens, la connaissance de cette approche. Or elle nécessite un véritable changement conceptuel (Scott, Asoko & Driver, 1992) pour être réellement comprise. C'est pourquoi les objectifs auxquels nous nous sommes attachés dans cette recherche sont les suivants :

- décrire, analyser et caractériser les changements conceptuels liés au passage d'une pratique "classique" de l'évaluation des incertitudes, à une approche statistique du même problème ;
- étudier la faisabilité de séquences d'enseignement sur ce thème et en inférer des objectifs possibles à ce niveau d'enseignement ;
- évaluer un enseignement visant ces objectifs.

Pour situer cette recherche plus générale, nous donnons dans l'encadré 1 une description schématique de ces changements conceptuels (Séré,

**QUELQUES CHANGEMENTS CONCEPTUELS
LIÉS AU PASSAGE D'UNE MÉTHODE "CLASSIQUE"
À UNE APPROCHE STATISTIQUE DU TRAITEMENT DES MESURES**

QUALITÉ D'UNE MESURE

- Initialement pour les étudiants (habités à faire une seule mesure), une mesure est soit bonne, soit mauvaise, bonne si elle est faite avec soin. Si on leur demande de faire plusieurs mesures, la dispersion les étonne.
- Comprendre le traitement statistique suppose de reconnaître que, dans une série de mesures présentant une dispersion, chaque mesure apporte de l'information, même les valeurs extrêmes. Le résultat d'un mesurage (c'est l'ensemble des opérations de recueil et de traitement des données) est une information à transmettre et/ou à utiliser. Il doit avoir deux qualités : l'exactitude et la précision.

ERREUR / INCERTITUDE

- Initialement, l'erreur apparaît comme "mauvaise" aux étudiants. Ils s'accusent d'en être la cause.
- Comprendre le traitement statistique suppose de reconnaître que ce qu'on appelle erreur (c'est une inconnue) est un écart à la valeur de référence. Chaque erreur résulte de l'accumulation de différentes causes de variation. Dans leur ensemble, les erreurs apportent de l'information et sont exploitables par les statistiques. Si l'on choisit de faire plusieurs mesures, il devient inutile d'évaluer l'incertitude de chacune d'elles.

SYSTÉMATIQUE / ALÉATOIRE

- Initialement, pour des étudiants, l'erreur est "systématique" (on ne peut l'éviter). Pour d'autres, l'erreur systématique est celle qu'on peut corriger. L'aléatoire n'intervient pas en physique.
- Comprendre le traitement statistique suppose de reconnaître que l'imprévisible (aléatoire) existe en physique. L'accumulation de nombreuses petites causes d'écart agit comme le hasard (déterministe). Les erreurs systématiques ont toujours le même signe, mais ne peuvent pas toujours être corrigées.

PRÉCIS / EXACT

- Initialement pour les étudiants, il y a confusion entre mesure "bonne" / "précise" / "exacte" (terme le moins utilisé).
- Comprendre le traitement statistique suppose de discerner précision et exactitude, le résultat étant d'autant plus précis que le nombre de mesures est grand. La répétition des mesures ne permet pas d'améliorer l'exactitude d'un résultat.

MEILLEUR REPRÉSENTANT D'UNE SÉRIE DE MESURES

- Spontanément les étudiants choisissent le mode, la médiane, la moyenne ou la moyenne de la série privée des extrêmes.
- Comprendre le traitement statistique suppose l'acquisition du concept de meilleur estimateur. Pour une série de mesures, c'est la moyenne.

INTERVALLE

- Initialement les étudiants donnent une valeur x accompagnée d'un intervalle chiffré par une division de l'appareil de mesure.
- Comprendre le traitement statistique suppose de remplacer la notion d'encadrement, intervalle de certitude à 100 %, par la notion d'intervalle de confiance associé à un taux de confiance différent de 100 %. A partir de la formule classique (Bevington, 1969), ils comprennent que l'intervalle de confiance est d'autant plus petit que le nombre de mesures est grand. Le nombre de chiffres significatifs se déduit non de la résolution de l'instrument de mesure, mais de l'intervalle de confiance.

Encadré 1

1992). Nous indiquons seulement d'une part un "état" initial du concept, tel que nous l'observons le plus souvent, d'autre part un "état" plus élaboré qui permet la compréhension de l'approche statistique. Les formulations proviennent d'observations d'étudiants engagés dans une démarche d'acquisition des connaissances lors de plusieurs séquences d'enseignement expérimentales.

Ces changements conceptuels sont parfois de véritables ruptures. Aussi, pour aider les étudiants à articuler ces concepts nouveaux, et à la suite de différents essais, nous avons choisi d'utiliser une analogie pour faire saisir globalement le caractère aléatoire d'un résultat de mesure, le type de population dont est extraite une série de mesures, ainsi que les nombreuses conséquences qui en découlent. Nous réalisons dans ce but une expérience, source de l'analogie, au cours d'une séance de travaux pratiques où il ne s'agit pas de juger les étudiants, mais de leur faire réaliser au mieux une démarche de traitement statistique des mesures. Cette expérience utilise l'appareil de Galton (figure 1) qui est constitué de rangées de clous disposés dans un plan vertical, surmontées d'un entonnoir par lequel on laisse tomber des billes. Celles-ci se répartissent grossièrement suivant une courbe de Gauss.

L'objet de cet article est uniquement l'étude didactique de cette analogie et non l'ensemble de la recherche (Séré, Journeaux & Larcher, 1993). Reprenant une classification d'A. Nguyen-Xuan (1990), nous la caractérisons comme analogie "pour comprendre" et non pour apprendre ou pour résoudre un problème. La compréhension est particulièrement difficile à évaluer ici : puisqu'il n'y a pas "problème", elle ne commande pas un résultat. Qu'ils comprennent ou non, quel que soit l'état du concept auquel ils sont parvenus, les étudiants de cet âge (18-20 ans) appliquent la consigne (par exemple : "Faites dix mesures") et font le calcul demandé puisque les formules sont données. Nous ne disposons donc pas d'une évaluation directe de l'efficacité de l'analogie. Nous cherchons plutôt à repérer des indices de compréhension, à étudier la reconnaissance par les étudiants des correspondances de la source et de la cible de l'analogie, et d'en déduire des caractéristiques de son fonctionnement.

Dans une première partie, nous décrivons le contexte d'acquisition des données. Une deuxième partie résumera les conceptions des étudiants que nous visons à faire évoluer grâce à l'analogie de l'appareil de Galton. La troisième partie exposera les principales caractéristiques de la source et de la cible de l'analogie. Enfin une quatrième partie étudiera l'efficacité pédagogique en terme de fonctionnement de l'analogie et d'évolution des étudiants.

1. LE CONTEXTE ET L'ACQUISITION DES DONNÉES

Nous ne reprendrons pas ici les différentes acquisitions de données et la méthodologie qui ont permis de cerner les représentations des élèves et nous ont conduit à élaborer cette analogie.

Il sera question ici de **l'observation de trois séances de travaux pratiques d'optique** (chacune s'adressant à un groupe de 20 à 24 étudiants) où l'enseignant disposait de l'appareil de Galton pour introduire l'utilisation des statistiques et les principaux théorèmes nécessaires au traitement des mesures. Il faisait un exposé à ce sujet dès que les étudiants disposaient tous d'une série de dix mesures (il s'agissait de mesurer la distance focale d'une lentille convergente).

La source de l'analogie est l'expérience qui consiste à faire tomber des billes dans l'appareil. La cible de l'analogie est le caractère imprévisible de chaque mesure et le caractère prévisible de la répartition de la population parente des mesures, qui est gaussienne.

L'exposé sur l'appareil de Galton était suivi d'un exposé des notions et théorèmes statistiques permettant de parvenir à un résultat en terme d'intervalle de confiance associé à un taux de confiance.

Différents **questionnaires écrits** ont été proposés aux étudiants individuellement. Pour des raisons de temps, aucun étudiant n'a répondu à l'ensemble des questions.

Certaines questions concernent directement la prise en compte de l'analogie par les étudiants (59 étudiants : les résultats seront donnés sous forme de pourcentages portant soit sur 59, soit sur le nombre de réponses exprimées). Les étudiants y ont répondu à l'issue de l'exposé de l'enseignant et après avoir terminé le calcul de l'intervalle de confiance, terme de la démarche dont la compréhension est visée par l'analogie en question.

D'autres questions ne portent pas directement sur l'analogie et ont été posées avant les séances observées. Elles permettent de cerner le traitement que les étudiants font spontanément d'une série de mesures présentant une dispersion (l'échantillon étant de 60 étudiants, les résultats seront donnés sous forme de pourcentages).

2. QUELQUES POINTS DE VUE D'ÉTUDIANTS SUR LE MESURAGE

Nous donnons ici quelques points de vue d'étudiants, exprimés avant ou pendant l'enseignement, mettant en lumière les conceptions que nous espérons faire évoluer à l'aide de l'analogie.

2.1. Une ou plusieurs mesures ?

Il faut ici se référer à la pratique des enseignants de lycée pour comprendre le point de vue des étudiants. Ils consacrent peu de temps au thème des incertitudes au cours des activités expérimentales. Dans la plupart des cas, la résolution de l'appareil de mesure est judicieusement choisie de façon à ce que, en ne faisant qu'une seule mesure, et en assimilant l'incertitude à une division, le résultat ainsi obtenu soit raisonnable (Coelho, 1993). Aussi les étudiants font-ils une seule mesure. Le soin qu'ils y apportent semble assurer qu'elle "tombera" à peu près sur la bonne valeur. Beaucoup ont compris qu'il est prudent de donner plutôt un encadrement qu'une seule valeur. Beaucoup hésitent à renoncer à de nombreux chiffres qui, en réalité, ne sont pas significatifs.

Au cours des séances de travaux pratiques que nous avons organisées, des étudiants ont pu affiner leur conception de l'encadrement "classique". Ils ont par exemple compris quelques-unes des limites de la méthode. L'une d'elle est que :

"Plus l'encadrement est grand, plus c'est vrai, moins c'est intéressant."

Il semble que ces étudiants, en admettant les insuffisances de leur pratique, sont prêts à admettre l'intérêt de faire plusieurs mesures pour contourner la difficulté d'évaluer l'incertitude sur une seule mesure. Cependant aucun étudiant n'a jamais proposé spontanément de faire plusieurs mesures. Pour eux, recommencer une mesure consiste à la vérifier, la confirmer, non à trouver une autre valeur :

"A quoi ça sert de recommencer, puisque quand je me mets sur la première position que j'ai trouvée, ça va très bien ?"

Aussi sont-ils étonnés de la dispersion de mesures successives. Un des étudiants a éprouvé le besoin de justifier pour lui-même la consigne (écrite) de faire dix mesures et le fait qu'elles soient éventuellement différentes :

"Maintenant qu'on a une plage (l'encadrement demandé pour une mesure), on va explorer la plage (faire plusieurs mesures)."

2.2. Le prévisible, l'imprévisible et l'utilisation des statistiques

Au cours de la séance de TP observée, les étudiants obtiennent une série de mesures dispersées. Ils sont alors confrontés au problème du prévisible et de l'imprévisible en physique. Toute leur formation au lycée a des fondements déterministes (bien que moins de 10 % des étudiants connaissent ce mot). Il leur est donc difficile d'admettre que chaque mesure est imprévisible et apporte de l'information sur la valeur cherchée. Leur démarche consisterait plutôt à trouver la "bonne" mesure parmi les valeurs obtenues, trouvant de nombreuses raisons de juger que des mesures sont "mauvaises". Ils incriminent souvent leur maladresse et l'imperfection des appareils.

Des questions posées par écrit donnent quelques indications sur ce que les étudiants appellent le **hasard** avant enseignement : l'imprévisible (41 %), ce qui n'est pas contrôlé ou expliqué par la physique (29 %), soit 70 % pour ces deux catégories. Ils ont utilisé le mot "aléatoire" au lycée dans l'expression "prélèvements aléatoires".

Nous avons également posé avant enseignement quelques questions sur les **domaines d'application des statistiques**. Pour 44 % d'étudiants, les domaines cités se rattachent aux statistiques descriptives, avec le plus souvent l'idée d'une population importante. 30 % évoquent des phénomènes de hasard. Ce sont ces deux grandes tendances que l'on retrouve dans les discussions de classe que nous avons menées à ce sujet.

L'ensemble de ces résultats laisse supposer que pour la plupart des étudiants, il est difficile de comprendre avant enseignement qu'un résultat de mesure est une variable aléatoire, et qu'une série de quelques mesures (dix au plus) est susceptible d'un traitement statistique.

2.3. Prise en compte de la dispersion et choix du meilleur représentant d'une série

Ainsi l'étudiant a spontanément une démarche qui consiste à juger et à obtenir une bonne mesure, et non la démarche que nous appelons "du statisticien" : toutes les mesures apportent de l'information, chacune est le fruit du hasard et elles doivent toutes être prises en compte dans le résultat final (voir encadré 1). "Le statisticien" donne la moyenne comme meilleur représentant d'une série.

Il n'en est pas de même pour tous les étudiants. Pour certains, la troisième mesure permet de choisir entre les deux premières, ou encore l'étudiant s'attend à un regroupement ou une convergence des valeurs, permettant de choisir le meilleur représentant. La situation, les uns par rapport aux autres, du mode, de la moyenne et de la médiane, les influence également dans leur choix du meilleur représentant de la série. Nous avons pu préciser ces points par un questionnaire avant enseignement, portant sur une série de mesures

telle que mode, médiane et moyenne soient proches et non confondus. Pour cette série, 36 % ont choisi la moyenne, 50 % le mode, et aucun la médiane. La moyenne ne fait donc pas l'unanimité.

Nous avons entendu quelques étudiants s'étonner que l'on puisse choisir comme meilleur représentant un nombre, la moyenne, qui ne fait pas partie de la série (historiquement (Armatte, 1991), c'est un argument qui a été mis en avant par des "adversaires" de la moyenne comme meilleur représentant). Pour ce concept, l'étudiant a aussi parfois à faire un véritable changement conceptuel pour acquérir le point de vue du "statisticien".

3. UNE ANALOGIE POUR COMPRENDRE : L'APPAREIL DE GALTON

3.1. Description

Le lien entre l'imprévisible d'une seule mesure, et le prévisible, est établi par le théorème central limite. Le physicien Ruhla (1989) le résume de la façon suivante : *"La somme de n'importe quoi est une gaussienne"*. Il exprime donc bien une relation entre l'imprévisible (*"n'importe quoi"*) et le prévisible, quand on dispose d'une infinité d'épreuves aléatoires. Cette étape est indispensable dans l'approche statistique des incertitudes que nous proposons aux étudiants. Ce sont en effet les propriétés de la répartition de Gauss qui sont utilisées pour calculer les intervalles de confiance. Ayant fait seulement dix mesures, l'étudiant a donc à imaginer la répartition d'une infinité de mesures, ce qui n'est pas intuitif. L'imaginer ouvre la possibilité de comprendre les nombreuses conséquences qu'en tirent les statistiques. Un point particulièrement délicat est d'imaginer l'histogramme des moyennes de toutes les séries de dix mesures, parmi lesquelles se trouve la série d'ores et déjà obtenue. Comme le souligne D. Corroyer (1992), *"parler de probabilité d'observer quelque chose qui est précisément déjà observé a de quoi troubler plus d'un étudiant."*

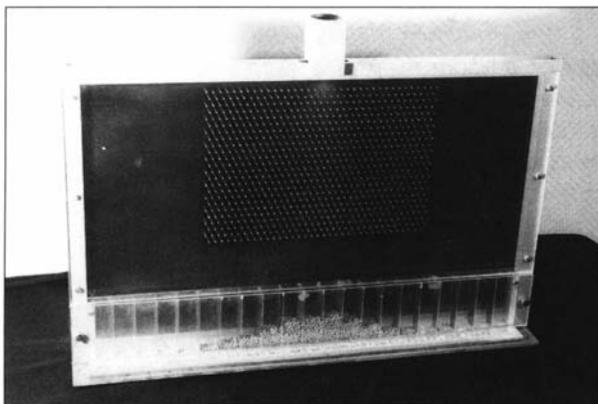


Figure 1 : L'appareil de Galton.

Nous pensons faciliter ce passage entre l'imprévisible et le prévisible, entre la dispersion de dix mesures et la répartition d'une infinité de mesures, par l'appareil de Galton. Il met en effet en scène un grand nombre de billes soumises à des écarts de type aléatoire quand on les laisse tomber par l'entonnoir à travers le système de clous (figure 1). Elles parviennent dans des cases numérotées de -10 à +10 après avoir subi des chocs aléatoires sur les rangées successives de clous. Les dimensions respectives sont telles que, en l'absence de clous, une bille tomberait dans la case 0 à coup sûr. Avec les clous, les billes se répartissent dans les cases de façon symétrique en reproduisant grossièrement une courbe de Gauss. La figure 2 montre la répartition gaussienne dont se rapproche la répartition d'environ cinq cents billes lancées dans l'appareil de Galton, ainsi que la répartition gaussienne d'une infinité de mesures d'après le théorème central limite. La correspondance analogique fondamentale est entre la variable aléatoire "case atteinte par une bille" et la variable aléatoire "résultat d'une mesure".

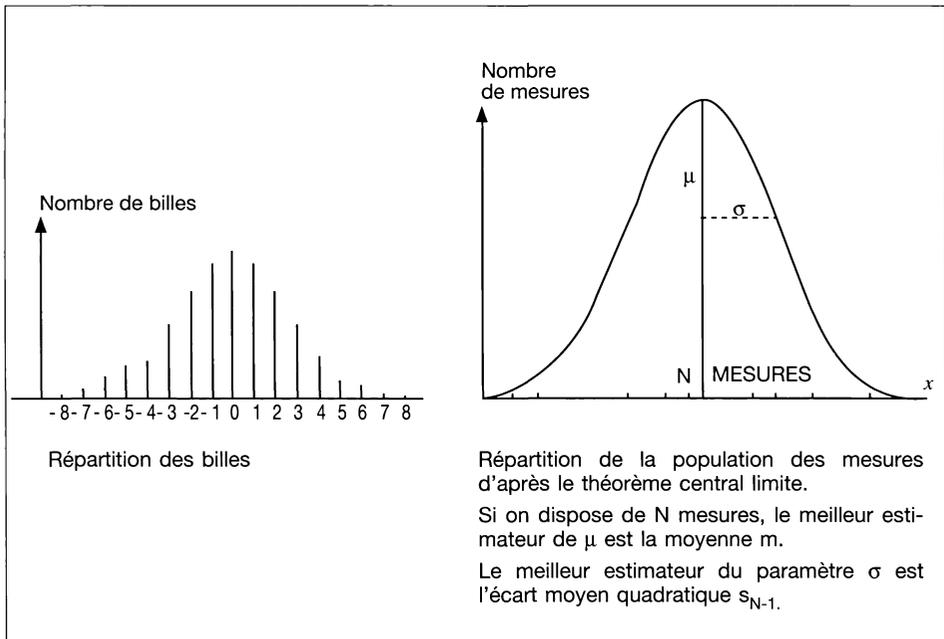


Figure 2 : En voyant la répartition des billes dans les cases, l'étudiant peut imaginer la répartition gaussienne d'une infinité de mesures.

Le discours de l'enseignant sur cet appareil met en lumière des éléments en correspondance dans l'analogie, suivant le tableau suivant (encadré 2).

BILLES	MESURES
(1) La case 0	La valeur cherchée
(2) La case atteinte par une bille	Le résultat d'une mesure
(3) Une déviation due à un (des) clou(s)	Une cause d'écart à la valeur de référence
(4) Toutes les déviations dues aux différences de lancer et à tous les clous	L'accumulation de petits écarts à la valeur de référence, donnant une erreur aléatoire
(5) La répartition d'une grande quantité de billes dans les cases est gaussienne	La répartition d'une infinité de mesures serait une gaussienne

Encadré 2

Le commentaire de l'enseignant fait intervenir deux autres correspondances analogiques. D'une part, la chute des billes et leur caractère imprévisible suggère aux étudiants l'utilisation du mot hasard. Il nous semble pertinent de conserver ce terme, présent dans la physique actuelle. L'enseignant l'applique donc aussi aux mesures (6) et le relie au terme aléatoire en général utilisé pour le type d'erreurs traitées dans cette séquence. D'autre part, l'enseignant fait remarquer qu'il n'y a pas de bonne bille ou de mauvaise bille, que toutes participent à la constitution de la courbe de Gauss. De même il n'y a pas de bonne et de mauvaise mesure (7). Toutes doivent participer au résultat final tiré d'une série de mesures.

3.2. Quelques spécificités de l'analogie

Une spécificité de la source de l'analogie est qu'elle est réellement **expérimentale**. L'enseignant la réalise devant les étudiants, il ne leur demande pas de l'imaginer par la pensée, il n'évoque pas une expérience supposée présente à l'esprit de l'étudiant comme c'est souvent le cas dans les raisonnements analogiques proposés dans l'enseignement (on suppose connus des étudiants des objets comme des chaînes de bicyclette, des courants d'eau, des remonte-pentes, etc.). Il ne demande pas non plus d'étude de la source préalable à l'exploitation de l'analogie. Les étudiants n'ont aucune difficulté à comprendre ce qui se passe pour les billes. Ils saisissent dans leur globalité les connaissances qu'ils auront à appliquer à la cible de l'analogie. Ils "voient" au sens fort du terme (l'évidence) que de nombreux chocs dans un sens ou dans un autre, en s'accumulant, font que la variable aléatoire étudiée suit une

répartition particulière qui, elle, est prévisible. La condition de familiarité reconnue par de nombreux auteurs comme une condition de succès est remplie.

Si l'on recherche l'**isomorphisme** des modèles qui rendent compte de la source et de la cible de l'analogie (Dupin & Johsua, 1989), on s'aperçoit que les deux variables aléatoires en cause sont susceptibles de la même modélisation mathématique, à une différence près : la numérotation des cases d'arrivée des billes est discontinue, alors que le résultat d'une mesure est une variable continue. Par contre, les nombreux petits écarts subis par chacune des variables aléatoires ne sont pas susceptibles de la même modélisation mathématique. Ils sont de nature différente et ne sont pas susceptibles d'un traitement mathématique identique. Le coût cognitif pour admettre la correspondance est probablement ici important et nous en verrons des conséquences quant à l'efficacité pédagogique et la prise en compte par les étudiants.

Enfin une caractéristique de cette analogie est qu'elle ne **“sert” qu'une fois** : elle aide à comprendre qu'une mesure est une variable aléatoire, et est due au hasard (dit déterministe). Elle guide alors le déroulement du calcul statistique et en donne un fil conducteur. Elle aide à **“comprendre”** ce déroulement et il n'y a pas de raison de l'évoquer ultérieurement.

4. TENTATIVE DE CARACTÉRISATION DE L'EFFICACITÉ PÉDAGOGIQUE

4.1. La reconnaissance de l'analogie par les étudiants

Avant commentaire de l'enseignant, les étudiants n'ont réellement aucune idée de ce que vient faire cet appareil dans la séance de TP d'optique. Peu à peu, au fur et à mesure de l'expérimentation et de l'exposé de l'enseignant, l'intérêt se manifeste, l'attention est toujours soutenue. Suivant les groupes, les questions sont plus ou moins nombreuses. Ceux qui s'expriment disent **“avoir compris”** à l'issue de l'expérimentation.

Ne nous contentant pas de cette impression, nous avons posé un questionnaire aux trois groupes d'étudiants qui ont assisté à une telle expérimentation, soit 59 étudiants. L'exposé était fait dans les trois groupes par le même chercheur. Il est illusoire de prétendre qu'il était identique dans les trois cas. Au moins son déroulement, son plan étaient-ils fixés au mieux. C'est la forme de l'exposé la plus simple à standardiser qui a été choisie. En effet, l'enregistrement de deux chercheurs différents a montré que deux modalités étaient possibles pour cet exposé. Soit l'enseignant commente complètement l'expérience des billes en soulignant tous les éléments qui serviront pour les

mesures, puis il applique toutes ces connaissances, faciles pour l'étudiant, aux mesures. Soit l'enseignant fait des allers et retours entre le problème des billes et celui des mesures, mélangeant même parfois les deux thèmes dans une même phrase pour rendre son exposé plus vivant. Nous avons choisi la première modalité, plus facile à standardiser, nous efforçant de rendre le plus intelligible possible le problème des billes se répartissant suivant une courbe de Gauss, avant de venir au problème des mesures, et de tirer des conclusions.

4.1.1. Les correspondances de l'analogie

Le **questionnaire** comprenait un tableau semblable au tableau 1 avec deux éléments d'analogie supplémentaire : l'intervention du hasard (6) et le fait qu'il n'y a pas de bonne et de mauvaise bille/mesure (7). La colonne de gauche était donnée aux étudiants et ils devaient élaborer la colonne de droite concernant les mesures, compte tenu de ce que :

– le correspondant de : “la case atteinte par une bille” (2) était donné à titre d'exemple ;

– pour le correspondant de : “le hasard intervient dans la répartition des billes” (6), il était demandé une phrase comprenant les mots (im)prévisible et dispersion.

Certaines **réponses** sont correctes pour pratiquement tous les étudiants :

(1) l'analogique de la case 0 (95 % des réponses exprimées sont correctes, deux non-réponses)

(3) la déviation due à un clou (89 % des réponses exprimées sont correctes, trois non-réponses)

(5) la répartition gaussienne (88 % des réponses exprimées sont correctes, une non-réponse)

(6) l'intervention du hasard (98 % des réponses exprimées sont correctes, trois non-réponses)

Exemple de réponse : *“L'imprévisible est la cause directe de la dispersion des mesures.”*

(7) “il n'y a pas de bonne et de mauvaise bille” (93 % des réponses exprimées sont correctes, une non-réponse).

Exemple de réponse : *“Avec beaucoup de mesures, on peut toutes les prendre, parce qu'on voit mieux celles qui reviennent le plus souvent.”*

Par contre la correspondance de l'articulation des différentes déviations que subit la bille le long de son trajet (4) n'est pas toujours comprise. Il y a quatre non-réponses. Il n'y a dans ce cas que 65 % des réponses exprimées qui sont correctes, soit 61 % de l'ensemble des réponses. 33 % des réponses exprimées ou 30 % de l'ensemble manifestent l'incompréhension. La plupart de ces incompréhensions proviennent d'une confusion avec l'incerti-

tude. Par exemple, "toutes les déviations dues aux différences de lancer et à tous les clous" (4) correspond à :

" La somme de toutes les erreurs"

" Ce qui donne le maximum des erreurs, c'est-à-dire l'incertitude".

Sur l'ensemble de ces questions, 80 % des étudiants ont une seule ou pas du tout de réponse incorrecte ou laissée en blanc. Ce pourcentage semble indiquer une reconnaissance globale de l'analogie satisfaisante.

4.1.2. Ce que l'analogie a aidé à comprendre

C'était l'objet d'une question ouverte. Il n'y a que quatre non-réponses.

Les réponses les plus satisfaisantes (en ce sens qu'elles montrent que l'analogie a atteint le but que nous nous étions fixé) sont au nombre de 55 % de l'ensemble. Par exemple :

"L'appareil de Galton m'a aidé à faire des analogies entre la répartition statistique des billes et la répartition (pas toujours compréhensible) des mesures. Il n'était pas évident de s'en sortir sans cette analogie et les résultats des travaux de Gauss."

"Cela m'a aidé à comprendre la nécessité de très nombreuses expériences pour obtenir le résultat le plus plausible."

Satisfaisantes aussi sont les réponses qui expriment que l'analogie permet de visualiser, comprendre, concrétiser, etc., la répartition de Gauss. Ce n'était pas notre but principal, mais c'est fondamental pour des étudiants qui n'ont jamais abordé la notion de répartition. Ces réponses représentent 23 % de l'ensemble. Par exemple :

"Comme ça, je vois concrètement le mécanisme de formation d'une courbe de Gauss."

Ainsi 78 % (55 % + 23 %) des étudiants se sont exprimés correctement sur l'intérêt de l'analogie.

Citons une réponse ambiguë que nous n'avons pas classée parmi les satisfaisantes :

"Cela m'a aidé à bien comprendre que la valeur de la moyenne est prévisible alors que pour une seule bille on ne peut rien prévoir."

Curieusement, 76 % des réponses exprimées ne parlent que de billes, et non de mesures ou de valeurs obtenues. Cela ne signifie pas, à notre sens, une incompréhension, car, comme peuvent le faire des enseignants, et comme l'ont fait des enseignants, les étudiants peuvent faire ressortir, en les appliquant aux billes, des points pertinents pour les mesures.

4.1.3. L'appréciation de l'analogie par les étudiants

Ils avaient la possibilité de marquer d'une croix les correspondances qui leur paraissaient difficiles à comprendre. Les deux premiers éléments – “la case 0” (1) et “une des cases” (2) – ne soulèvent aucune difficulté pour les étudiants. Pour les autres correspondances, il n'y a jamais plus de quelques unités (moins de 10 %) qui notent la difficulté.

Par ailleurs, les étudiants pouvaient choisir entre plusieurs qualificatifs (facile, utile, difficile, artificielle, bizarre, etc.) à appliquer à l'analogie. Trois étudiants choisissent “difficile à comprendre”, un seul “inutile”, et moins de 10 % “bizarre” ou “artificielle”.

Ces résultats confirment l'impression d'avoir fortement intéressé les étudiants, retirée en général par l'enseignant de l'utilisation de l'analogie.

4.2. Le fonctionnement de l'analogie

Il semble que le fonctionnement de cette analogie se caractérise par la facilité de la compréhension du domaine source. C'est ce qu'explique une étudiante qui sans doute n'a pas vraiment compris la question ouverte dont il a été rendu compte au paragraphe 4.1.2. et y répond de la façon suivante :

“L'appareil ne m'a rien appris. Je l'avais déjà plus ou moins vu et me doutais de ce qui allait se passer.”

Effectivement tous les étudiants se doutent de ce qui va se passer pour les billes. L'analogie leur donne l'occasion de se faire une image globale et synthétique d'un phénomène aléatoire. Une fois cette image acquise, l'étudiant peut en tirer différents résultats qui l'aident à saisir le déroulement, beaucoup moins global, du raisonnement qui mène à l'intervalle de confiance.

Une étudiante exprime bien la difficulté qu'elle a rencontrée : elle dit avoir été gênée par la généralisation à “des” mesures. Elle aurait préféré une application aux seules mesures réalisées le jour même en optique. C'est bien le saut qui est demandé aux étudiants : le problème des billes est facile à comprendre et engendre une image simple d'un phénomène aléatoire, celui de mesures dans une expérience particulière est moins facile, celui de toute mesure est encore plus difficile, avec toutes les notions d'erreur, d'incertitude, d'aléatoire, de systématique.

Cette analogie étant située dans la continuité d'un enseignement visant à modifier les représentations des étudiants, il est difficile d'en caractériser l'apport spécifique. Nous noterons seulement deux points : parmi les étudiants qui en ont profité, aucun ne continue à juger les valeurs obtenues comme “bonnes”, “mauvaises”, “aberrantes”. Par contre, plusieurs étudiants d'un groupe qui n'en a pas profité, ont pensé que le calcul de l'intervalle de confiance était destiné, *in fine*, à juger les mesures, celles qui sont à l'extérieur

pouvant être considérées comme aberrantes. Cette démarche est contraire à ce que nous avons appelé le point de vue du "statisticien", point de vue qui paraît plus facile à acquérir avec l'analogie.

Cependant, nous l'avons vu, une difficulté existe et les étudiants ne trouvent pas tous dans l'analogie de quoi la dépasser. Avec ou sans analogie, certains ont du mal à imaginer l'articulation de petites erreurs multiples. La conséquence en est une conception erronée des erreurs aléatoires.

CONCLUSION

C'est une expérience réellement réalisée devant les étudiants qui leur fournit une image permettant d'établir une relation entre la dispersion des mesures, l'intervention du hasard dans les mesures et l'utilisation des statistiques dans le mesurage. Son but est de modifier une représentation rudimentaire, sinon erronée du traitement des mesures. Utilisant des connaissances très simples à titre de source, elle permet une appréhension globale de plusieurs résultats de statistiques qui demandent normalement plusieurs étapes de raisonnement. Sa cible est un ensemble de connaissances essentiellement qualitatives, en tant qu'elles favorisent un changement de représentation, préalable d'un calcul mathématique. La cible de cette analogie qui ne "sert" qu'une fois peut être dite ponctuelle et qualitative : deux caractéristiques qui peuvent faire penser qu'elle est souvent atteinte.

BIBLIOGRAPHIE

ARMATTE M. (1991). La moyenne à travers les traités de statistique du XIX^e siècle. In J. Feldmann, G. Lagneau & B. Matalon, *Moyenne, milieu, centre. Histoire et usages*. Paris. Éditions de l'EHESS, pp. 85-106.

BEVINGTON P.R. (1969). *Data reduction and error analysis for the Physical Sciences*. New York, Mc Graw-Hill.

COELHO S. (1993). *Contribution à l'étude didactique du mesurage en physique dans l'enseignement secondaire : description et analyse de l'activité intellectuelle et pratique des élèves et des enseignants*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

CORROYER D. (1992). *Le traitement statistique des données en psychologie et son enseignement : de l'ère des tables à l'ère informatique*. Thèse de doctorat, Université Paris 5 René Descartes.

DUPIN J.-J. & JOHSUA S. (1989). *Expérimentations d'approches hypothético-déductives de la physique en classe de seconde : conditions et évaluation*. Rapport de recherche.

NGUYEN-XUAN A. (1990). Les analogies pour comprendre, pour apprendre et pour expliquer. In C. Bonnet, J.F. Richard & J.M. Hoc (Eds), *Traité de psychologie cognitive*. Paris, Dunod, pp. 145-157.

RUHLA C. (1989). *La physique du hasard*. Paris, Hachette-CNRS, Collection Liaisons scientifiques.

SCOTT P.H., ASOKO H.M. & DRIVER R.H. (1992). Teaching for conceptual change : a review of strategies. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niederrerr (Eds), *Research in Physics learning : theoretical issues and empirical studies*. Kiel, IPN, pp. 310-329.

SÉRÉ M.-G. (1992). A better comprehension of measuring in laboratory work. Communication au *Séminaire ATEE 1992*, Lahti, Finlande (à paraître).

SÉRÉ M.-G., JOURNEAUX R. & LARCHER C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 4, pp. 427-438.



Les représentations du concept de microbe : un construit social contournable ?

Élaine RENÉ, Louise GUILBERT

Département de didactique
Faculté des sciences de l'Éducation
Université Laval
Québec, Canada, G1K 7P4

Résumé

Les représentations du concept de microbe ont été investiguées chez de jeunes adultes au moyen d'entretiens non directifs suivis d'une analyse comparative constante (Strauss & Corbin, 1990). Les microbes semblent essentiellement associés à la maladie et ce qu'il s'agisse d'une relation d'identité ou de cause à effet. Ils sont perçus comme fondamentalement "mauvais" et aucune relation hôte-microbe n'est envisagée. Cette absence de vision dynamique entre les microbes et l'hôte est peu compatible avec le concept de flore normale traité dans une perspective d'écologie microbienne. Un modèle théorique est proposé pour donner un sens aux affirmations des sujets et éventuellement adapter des situations d'enseignement permettant de tenir compte de ce construit social et non de le contourner.

Mots clés : *représentations sociales, microbes, adultes, analyse qualitative, conceptions spontanées.*

Abstract

Young adults were asked to express their ideas of "germs". Individual interviews were conducted and then analysed by a constant comparative

analysis (Strauss & Corbin, 1990). For most of them, the word “germs” is associated with disease ; they do not acknowledge the possible relation between a host (human body) and germs. This fatalist and static conception of germs is incompatible with the concept of normal flora and homeostasis. A theoretical model is proposed to characterize the ideas of “germs” presented here. Teaching strategies are also suggested to take into account the social context in historical and contemporary perspectives.

Key words : *social representations, germs, adults, qualitative analysis, spontaneous conceptions.*

INTRODUCTION

Depuis plus de vingt ans, nous assistons à l'essor d'un secteur de recherche en didactique des sciences : celui des représentations. Il semble de plus en plus accepté que les apprenants n'attendent pas de fréquenter les classes de sciences pour donner un sens aux phénomènes naturels dont ils sont témoins (Driver et al., 1978 ; Giordan & De Vecchi, 1987). Les premiers travaux en ce sens, réalisés par l'école piagétienne, portaient sur des phénomènes physiques (force, mouvement, chaleur et température), mais qu'en est-il des phénomènes biologiques ? Récemment, Lawson (1988) a remis en doute la présence de représentations structurées quant à certains concepts de biologie (méiose-mitose, théorie cellulaire, génétique de Mendel, etc.). Pourtant, depuis le début des années 1980, les études en biologie foisonnent pour démontrer le contraire. Nous n'avons qu'à en référer à Giordan & Martinand (1988), Pfundt & Duit (1991) pour constater que les concepts suivants ont généré des modèles explicatifs plausibles : le vivant, le corps humain, l'animal, la plante, la nutrition, la fécondation, la photosynthèse et la respiration. Les concepts de microbe (Nagy, 1953 ; Vasquez, 1985) et de santé (Brumby et al., 1985) ont également été l'objet d'étude en rapport avec notre recherche.

Le questionnement à l'origine de cette recherche résulte principalement de notre expérience d'enseignement de la microbiologie auprès d'une clientèle de Soins Infirmiers (cours technique post-secondaire). A l'automne 1988, un nouveau programme d'enseignement de la biologie entrait en vigueur ; inspiré de l'approche systémique (De Rosnay, 1975), ce programme valorise une vision globale du corps humain et tente de faciliter la coordination entre les cours de biologie et les cours de Soins Infirmiers. Ainsi, dans un contexte de Soins Infirmiers, c'est la notion d'**homéostasie** qui est retenue pour organiser les contenus théoriques. Pour ce faire, Boucher et Dubois (1989) utilisent la simulation de pathologies infectieuses pour faire comprendre aux élèves en quoi l'homéostasie est une condition essentielle au maintien d'une bonne santé. Le fait de décloisonner l'enseignement de la biologie au profit d'une approche holistique est certes louable, mais les concepts sous-jacents ne

semblent pas intégrés d'emblée. Selon les enseignants de biologie, les élèves semblent incapables de considérer la relation hôte-microbe et le concept de "flore normale" comme un équilibre à préserver, dans le même sens que l'homéostasie, et encore moins enclins à en parler en termes d'écologie microbienne. C'est alors que nous nous sommes posé la question suivante : est-ce que ces difficultés d'apprentissage pourraient être attribuables aux représentations que les élèves ont du concept de microbe ? Et dans l'affirmative, quelle est la nature de ces représentations et comment, dans un contexte d'enseignement, allons-nous conjuguer avec ce constat ?

1. ASPECTS THÉORIQUES

Étudier les représentations est certes un point de départ intéressant, mais dans quelle optique ? Quel sera le statut accordé à ces construits ? Le discours utilisé par les chercheurs pour décrire leur "objet d'étude" est généralement signifiant du traitement qu'ils lui réservent par la suite. Il apparaît donc essentiel ici de définir et de distinguer les notions de concept et de représentation. La notion de représentation peut être abordée sous des angles différents selon qu'on se situe en psychologie sociale, cognitive ou dans les théories de l'apprentissage et de la construction des connaissances. La notion retenue ici est celle de Jodelet (1989) :

Une représentation est "une forme de connaissance, socialement élaborée et partagée, ayant une visée pratique et concourant à la construction d'une réalité commune à un ensemble social." (p. 36).

La notion de représentation est donc propre à l'individu qui la construit, sous les pressions des réalités physique et sociale ; c'est un mode d'appréhension de la réalité qui est fait sien. En ce sens, la représentation, même issue des négociations de sens dans un environnement social donné, est donc idiosyncratique, c'est-à-dire propre à chacun des individus. La notion de concept, quant à elle, serait plus près de ce que certains (West & Pines, 1985, p. 30) appellent le savoir public, soit un savoir dérivé des compréhensions individuelles (savoirs privés) ; ce savoir existe parce qu'il existe un recouvrement important entre les savoirs privés. En sciences, le concept de microbe serait le savoir cohérent avec le savoir officiel, c'est-à-dire le savoir public des scientifiques, tandis que la représentation serait le savoir privé ou la représentation propre à chacun des individus. La représentation se constitue au terme d'un processus individuel et social d'élaboration, d'appropriation et d'interprétation de la réalité extérieure, et d'une intériorisation des modèles de conduite ou de pensée inculqués ou transmis par la communication sociale (Jodelet, 1984).

Pour Gilbert et Watts (1983), la terminologie utilisée pour parler des représentations ("*conceptions*") est signifiante du statut épistémologique qui leur est accordé. En effet, certains y voient une erreur de parcours à corriger ("*conceptions erronées*", "*misconceptions*", "*students' errors*") tandis que

d'autres ont tenté d'en comprendre la nature et le pouvoir explicatif ("*mini-theories*", "*children's science*", "*alternative frameworks*"), accordant ainsi à ces représentations un statut épistémologique certain associé à une étonnante viabilité dans le contexte quotidien. C'est plutôt dans cette dernière optique que s'inscrit cette étude qui vise, avant tout, à améliorer notre compréhension des représentations de jeunes adultes n'ayant pas eu d'enseignement formel portant sur le concept de microbe. Les réalités sociales étant multiples, complexes et construites par les sujets qui les vivent, cette étude vise donc davantage à comprendre en profondeur leur représentation du concept de microbe qu'à en faire une comparaison nomothétique avec ce que la science propose comme savoir officiel. L'approche idéographique utilisée par Driver et Easley (1978) sera donc privilégiée, en tentant de représenter les diverses idées au moyen de liens logiques et de relations regroupés sous la forme d'une carte conceptuelle. Ainsi, ce n'est pas un concept seul qui est soumis à notre investigation mais un ensemble de relations que le sujet qualifie spontanément. Cette approche s'inscrit dans une vision relationnelle du concept (Gilbert et Watts, 1983) car, pour nous, ce sont les relations entre les éléments qui donnent sens et vie au concept étudié et lui attribuent tout son potentiel de signification.

2. ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES

La population retenue pour notre étude est composée de jeunes adultes, âgés de 18 à 25 ans, n'ayant jamais eu un enseignement formel portant spécifiquement sur les microbes. Les dix sujets de cette population (E-1 à E-10) étaient volontaires et certains se destinaient à des études en Soins Infirmiers. Lors de l'entretien d'une durée approximative de trente minutes, il a été signifié clairement aux sujets que ce qui intéressait le chercheur était leur compréhension intuitive de l'idée de microbe, **leur** façon de voir plutôt que **la** réponse qu'ils croyaient bonne ou désirée par le chercheur.

L'entretien a été retenu comme instrument de collecte de données sans être associé à une mise en situation ou à une tâche précise car, le concept de microbe étant très abstrait, toute mise en situation lui attribuerait déjà une certaine connotation qui aurait pu orienter le discours des sujets. Cette recherche est donc d'inspiration naturaliste selon la définition qu'en donnent Lincoln & Guba (1985), c'est-à-dire une étude utilisant l'instrument humain pour une collecte de données, et l'analyse inductive permettant le développement d'une théorie et la construction a posteriori d'un plan détaillé de l'étude. La souplesse tant du protocole d'entretien que de l'intervieweur sont donc des points cruciaux permettant d'élaborer ce nœud relationnel, en tentant d'intervenir le moins possible tout au long de l'entretien.

La question de départ était celle-ci : "*Qu'est-ce qui te vient à l'esprit lorsque je mentionne le mot microbe ?*" Selon l'association effectuée (microbe

= maladie, microbe = bibitte¹), l'élève était invité à expliquer les liens qu'il établissait. Ainsi, afin d'investiguer les représentations, nous avons privilégié un entretien non-directif (Gauthier, 1984) pour la majeure partie de la rencontre, et l'entretien semi-directif vers la fin dans le but de couvrir certains thèmes prédéterminés (localisation, description, origine, utilité, souvenir, taxonomie) lorsqu'ils étaient compatibles avec le construit présenté par le sujet. Cette façon de mener les entretiens peut être considérée comme la partie originale de notre approche, car elle est flexible, permet la clarification de certaines réponses tout en allant plus en profondeur et s'attarde à l'aspect dynamique de la pensée. De plus, selon Michelat (1975), l'information obtenue ainsi peut être considérée comme correspondant à des niveaux de compréhension plus élaborés à cause justement du degré de liberté accordé au sujet.

Les entretiens ont été enregistrés avec la permission des sujets et retranscrits mot à mot. Par la suite, il y a eu préparation du discours, c'est-à-dire que le texte a été rendu plus conforme au langage écrit (Bardin, 1977) et fragmenté en unités de signification (Michelat, 1975, p. 238). Ces dernières ont été regroupées en catégories et en sous-catégories (voir les titres et sous-titres de la figure 1, page 54) et ce selon l'analyse comparative constante effectuée entre elles. Ces catégories sont dites émergentes ou ancrées dans les données car elles sont issues à la fois des données et des catégories implicites du chercheur et ceci, par une approche inductive ("*grounded theory*" de Strauss & Corbin, 1990). La catégorisation d'idées similaires par degré d'appartenance sémantique s'est effectuée par un examen attentif des unités de signification, ainsi que par une recherche des caractéristiques et des propriétés propres à cette catégorie. Le nom donné à la catégorie est donc l'appellation plus abstraite donnée aux concepts qui y sont regroupés : c'est ce qu'on appelle "*l'abstraction substantive*" ("*open coding*"), où le nom emprunte souvent la substance même du libellé du verbatim des entretiens ou des catégories mentales de l'analyste (Strauss & Corbin, 1990). A la suite de l'attribution de caractéristiques propres à une catégorie et de leur localisation le long d'un continuum, il est possible de formaliser ou de donner un sens aux divers matériaux d'analyse : c'est "*l'abstraction formelle*". Ainsi, en ce qui concerne notre premier niveau d'analyse, la première catégorisation renseigne sur ce que confient les élèves (le "quoi") en empruntant parfois les termes utilisés en microbiologie : reproduction, déplacement, etc. (voir figure 1). Le deuxième niveau d'analyse renseigne plus sur les relations que le sujet établit entre les différents concepts (le "comment"). C'est à la suite de cette réflexion que nous proposons un modèle théorique permettant de donner un sens au discours des sujets.

1. **Bibitte** : (variantes : bebit(t)e, bibit(t)e, bébi(t)e), canadianisme équivalent de **insecte**.

3. VERS UNE CARACTÉRISATION DE L'IDÉE DE MICROBE

3.1. Premier niveau d'analyse ¹

Les propos des élèves ont été regroupés en catégories ; les sens émergents sont décrits succinctement à la figure 1, de même que le nombre d'individus se ralliant à un propos donné. De façon générale, le microbe semble être considéré comme un être vivant, au même titre qu'un insecte ou un ver de terre. Conséquemment, les sujets lui attribuent des particularités telles que la morphologie, le déplacement et la localisation ainsi que des besoins fondamentaux dans le sens de la chaleur, la nourriture et l'humidité. Dans le cadre de ce travail, quelques-unes de ces catégories seront abordées.

Statut accordé au microbe : un être vivant et microscopique

Ainsi, dans un premier temps, six des dix élèves se prononcent spontanément sur le statut qu'ils accordent au microbe. Les autres en parleront en termes équivalents sous les prochaines rubriques. Il semblerait que, pour eux, le microbe soit bel et bien un être vivant et microscopique. Voici comment en parle un élève : *"Le microbe, c'est microscopique, mais ça a une forme, ça réagit, c'est un être, un organisme vivant."* (E-8). Partant de cette affirmation, nous comprendrons pourquoi il est aisé pour les sujets d'y raccrocher une série de propriétés et de besoins fondamentaux.

Quant à la morphologie attribuée au microbe (figure 1), les élèves ont répondu à la question suivante : *"Comment te le représentes-tu, le microbe ?"* Il est possible de noter que l'élève s'inspire de son vécu, de son quotidien pour décrire le microscopique, l'infiniment petit. Deux modèles peuvent être isolés : la bibitte (*"Je le vois comme un petit rond avec des yeux, puis des pinces"* (E-3)) et la cellule.

L'organisme vivant, précédemment décrit, semble pouvoir se déplacer. En effet, cinq des dix élèves se sont prononcés en ce sens. Il semble important ici de distinguer deux types de déplacement : l'un autonome, actif, correspondant à une mobilité intrinsèque du microbe, en comparaison à l'autre, le déplacement passif associé cette fois à un vecteur tel que l'eau, la circulation sanguine, l'air ou le vent correspondant ainsi à une mobilité extrinsèque. Trois des cinq sujets ont parlé de déplacement en termes de déplacement passif, en voici un qui s'explique : *"C'est à cause que la vapeur monte, ils [les microbes] se promènent dans l'air, ils sont plus légers."* (E-2).

Par rapport à la localisation (figure 1), voici ce que confient neuf des dix sujets : des microbes, on en retrouve partout, dans l'eau et dans l'air. Mais

1. Pour les besoins de ce travail, nous nous limiterons à la présentation de trois catégories, le lecteur pouvant toujours en référer au document de base pour l'ensemble du travail (René, 1992).

ce qui se démarque dans un deuxième temps, c'est comment les intervenants définissent ce "partout". En effet, il est possible de cerner deux "territoires habitables" selon le discours des sujets. Dans le premier cas, il est question pratiquement d'"environnement", au sens où l'humain est complètement évacué. En d'autres termes, les élèves parleront de l'air, de l'eau en soulignant qu'il y a plus de microbes dans les matières en décomposition, dans la saleté et chez une personne malade. Voici ce que présente un élève en rapport avec l'environnement : *"Des microbes, il y en a partout. Probablement dans les endroits infectés, les matières en décomposition, un endroit sale, la poussière."* (E-2). Un autre élève parlera cette fois de la limite à ne pas franchir : *"Les microbes ne sont pas supposés être dans le corps... le microbe est sur le corps humain."* (E-5). Les élèves présentent à leur façon un "seuil de santé" qui devient déterminant de l'équilibre d'un individu. Dès que ce seuil est franchi, la personne sera considérée comme "malade". Ce qui ne semble pas compatible avec le concept de flore normale. Pour compléter cet aspect de la question, le deuxième groupe comprend trois sujets affirmant que nous avons des microbes à l'intérieur de nous, que nous pouvons être "porteurs", et c'est l'idée d'un "système de contrôle" de la population microbienne qui est ici introduite. Considérons ce qu'ils expriment :

"Des microbes, il y en a partout, tu en as à l'intérieur de toi, ça fait partie intégrante de la vie... Tu peux être porteur de microbes et ton système est capable de l'éliminer quand il y en a trop." (E-4)

En résumé, il serait possible d'affirmer que la majorité des individus interrogés conçoivent les microbes comme des "entités" très indépendantes qui semblent se complaire plus spécialement dans les endroits malpropres ou poussiéreux. A la limite, on peut en retrouver **sur** le corps, mais pas **dans** le corps. L'insistance sur le **contrôle** de la quantité de microbes et sur la nécessité d'une bonne **immunité** nous renseigne encore plus sur le croquis peu reluisant que les sujets esquissent du microbe. L'humain en tant que tel n'est pas considéré comme un biotope : lorsque l'on retrouve des microbes chez lui, c'est parce qu'il est malade. Pour une minorité d'individus, nous sommes porteurs de microbes, mais il semble que ceux-ci soient considérés comme de "mauvais" microbes et non comme de "bons" microbes pouvant être d'une certaine utilité à l'organisme. Selon certains élèves, il est possible de retrouver des microbes dans le corps humain, ils devront cependant être régis par un système de contrôle dont il sera question plus loin.

Les élèves ont également parlé de la reproduction des microbes (figure 1). Le modèle qui revient le plus souvent est celui de la cellule, puisque cinq des dix individus sollicités y font appel. Par la suite, deux sujets parleront du rôle de la chaleur dans le processus de développement du microbe. Un élève expliquera le lien qu'il établit entre chaleur et développement des microbes :

"Le microbe de la viande, c'est peut-être la chaleur qui active certaines choses. [...] La salmonelle viendrait avec la chaleur,

une réaction de l'air et de la chaleur, peut-être due au fait qu'il y a du sang dans la viande.” (E-8)

Cette vision spontanéiste (Giordan, 1987) vient rejoindre la croyance populaire selon laquelle les microbes “apparaissent” dans les aliments. L'élève sollicité parle surtout de la salmonelle et l'on sait très bien les phobies et les manies qui peuvent entourer la cuisson d'un poulet justement à cause de cette bactérie. Certains ne sont pas conscients de la “préexistence” de cette bactérie dans le poulet dont les conditions de manipulation, de cuisson et d'entreposage peuvent faciliter le développement ; ils sont surtout effrayés à l'idée que la chaleur puisse provoquer “l'apparition” de microbes sur le poulet. Les autres modèles utilisés pour expliquer la reproduction des microbes sont les suivants : la fission binaire et la reproduction sexuée.

Les microbes par rapport à la maladie

Cette catégorie englobe toutes les affirmations où le sujet établit une relation entre le microbe et la maladie, soit au cours de l'association première, c'est-à-dire en réponse à la question initiale (*Qu'est-ce qui te vient à l'esprit lorsque je te prononce le mot “microbe” ?*) ou encore par la suite, lorsque le sujet donne des exemples et effectue des analogies. Parmi les dix sujets appelés à faire une association d'idée, neuf se sont prononcés en rapport avec le concept de maladie. De ces neuf élèves, cinq établissent une relation d'identité entre microbe et maladie. En d'autres termes, pour ces individus le microbe **est** la maladie et **non la cause** de celle-ci. D'autre part, quatre sujets se représentent le microbe en tant qu'agent causal : *“Les microbes, ce sont des petites bibittes qui font mal à l'organisme.” (E-7).*

Fait intéressant à noter : pour deux étudiants, il ne semble pas y avoir de nuance en ce qui concerne le rôle attribué au microbe. Dans le premier cas, l'élève (E-5) affirme que **toutes** les maladies sont des microbes, alors que l'autre (E-8) affirme que le microbe est **toujours** associé à la maladie. Notons qu'il y a une différence de formulation dans les deux affirmations ; ce n'est pas sur ce point que nous voulons insister, mais plutôt sur le fait suivant : un profil exclusif est associé dans un premier cas à la maladie, et dans un second cas, au microbe.

À la suite de ces deux rubriques, il est possible d'esquisser un portrait du microbe tel que nous le décrivent les sujets. D'abord perçu comme exclusivement associé à un processus pathologique, le microbe semble n'avoir qu'un profil : celui du méchant. Ce que nous appelons “modèle unique” de microbe. Cette image est un construit qui semble si profondément ancré, qu'un individu confiera que même s'il sait que les microbes peuvent aider (par les vaccins), il leur associe tout de même un effet nuisible. Nous avons tenté de savoir si les intervenants attribuaient un rôle positif au microbe, bref si le microbe ne serait pas d'une quelconque utilité. Pour cette première partie, quatre élèves se sont prononcés sur l'idée de “bon microbe”. Dans le premier cas, le sujet en déduit la notion de **bon** microbe puisqu'il a déjà entendu parler de

mauvais microbe ! Alors, c'est qu'il doit sûrement y en avoir des bons ! Pour le deuxième cas, l'élève associe l'idée de bon microbe à celle d'un contrôle nécessaire et d'un seuil à ne pas franchir : il ne faut pas que les mauvais entrent dans le "système". Des bons microbes, c'est concevable uniquement s'il existe un processus de contrôle.

Nous venons de présenter les sujets ayant évoqué **spontanément** la notion de "bon microbe". Maintenant, laissons-les répondre à la question suivante : *"Est-ce que le microbe sert à quelque chose ?"* Parmi les neuf sujets sollicités en ce sens, voici le profil des réponses : six des neuf intervenants parlent d'une utilité en étroit rapport avec la maladie, tandis que deux élèves affirmeront qu'à part les maladies, elles ne connaissent pas autre chose que peuvent faire les microbes.

"Les microbes, ça sert à nous immuniser, c'est certain, si t'as jamais eu de microbes de ta vie, quand tu vas sortir dehors et tu vas parler à quelqu'un de malade, tu vas tout prendre. Il faut que tu sois immunisé."
(E-6)

Ceci nous rapproche du cœur de notre question de recherche : les représentations du concept de microbe chez de jeunes adultes. Nous avons dégagé, lors d'une précédente catégorie, que neuf des dix sujets s'étant prononcés sur le portrait du microbe l'ont fait en rapport avec la maladie, en termes d'identité ou de causalité. Par la suite, quatre sujets ont précisé leur idée de microbe par des traits négatifs, le tout correspondant à un modèle unique du microbe, c'est-à-dire essentiellement mauvais. A la lumière de la présente catégorie, il est maintenant possible de conclure que l'expression "bon microbe" puisse sembler paradoxale pour certains. En effet, quatre des dix élèves ont parlé de l'existence possible de "bons microbes", mais devant être rigoureusement soumis à un processus de contrôle, lorsqu'à l'intérieur du corps humain. Pour l'extérieur, un seul sujet reconnaît qu'il y a de bons microbes, comme les bactéries dans le yogourt. Nous en sommes ainsi à un nouveau portrait de microbe : le "bon microbe". Il semble y avoir les bons et les mauvais, ceux qui produisent le yogourt et ceux qui donnent la maladie. Partant du modèle unique initial, étroitement lié à la maladie, nous retrouvons un modèle multiple, mais très compartimenté. Il y a les bons et les méchants, et il ne semble y avoir aucune relation entre les deux. Ceux qui sont bons le seraient en tout temps, et de même pour les mauvais. Leur modèle unique associé à la maladie est tellement omniprésent, que lorsque la question leur est posée quant au rôle ou à l'utilité du microbe, ils parleront d'immunité, d'antidotes et d'une alerte des globules blancs. En d'autres termes, il semble y avoir un raisonnement circulaire car, pour eux, les anciens "méchants" ont changé de clan pour être "utiles" en nous immunisant et en produisant des antidotes. Parallèlement à ces deux images de microbe, le bon et le mauvais, il a été possible de distinguer un troisième modèle du microbe : le "neutre". En effet, deux sujets ont parlé en ces termes, dans un processus comparatif avec les microbes mauvais. Voici comment ces individus s'expriment :

“Il y en a [des microbes] qui font rien, il y en a qui ne dérangent pas, mais il y en a par contre qui sont nuisibles. [Les microbes qui ne font rien] Ce sont des microbes comme les autres, sauf qu’au lieu de s’attaquer au corps humain, eux autres, ils ne font rien. Ils ne s’attaquent pas à nous autres, et ils sont en contact avec nous autres, mais ne sont pas nuisibles, ou nous sommes déjà immunisés. Peut-être sont-ils nuisibles, mais étant donné que nos anticorps sont déjà formés depuis qu’on est jeune, ils [les anticorps] se défendent contre eux autres [les microbes] plus vite que les autres [microbes].” (E-3)

“Il doit y avoir des microbes de l’extérieur et d’autres qui s’accommodent bien de notre organisme qui, en fait, sont parasites et qui ne nuisent pas nécessairement. [...] Les parasites accompagnent ta vie au complet, ce sont des compagnons que tu ne vois pas. [...] Ils [les parasites] se nourrissent de ce que je peux avoir de substance intérieure ou extérieure, sans me nuire, mais je n’ai aucune idée de leur rôle.” (E-7)

Dans le premier cas, les “neutres” seraient d’anciens “mauvais” qui sont maintenant régis par les anticorps. Ils sont neutres dans le sens où ils sont impuissants pour “attaquer” l’individu, bref ils sont “neutralisés”. Dans le deuxième cas, l’élève parle de parasitisme qu’elle a mentionné sans donner plus d’informations. Considérant les explications qu’elle donne par la suite, il semble préférable d’associer ses propos à l’idée de “flore normale”, puisque la description qu’elle en donne plus loin dans l’entretien ne correspond pas à l’idée de parasite, mais plutôt à celle d’un groupe de microbes faisant partie de façon normale du corps humain. C’est d’ailleurs la seule élève à avoir envisagé cette dimension.

Huit des dix élèves décrivent spontanément dans leur discours le mode d’action du microbe. Notons que les termes utilisés sont de l’ordre du **dérangement** jusqu’à la **destruction**, en passant par le **dérèglement** et l’**attaque**.

“Pour nous rendre malades, les microbes se prennent en “gang” ! Ils attaquent notre système de défense, ils sont plus forts qu’eux autres. [...] Je suppose qu’il doit venir une période où ils [les microbes] ont plus de vigueur, et puis en s’attaquant à l’organisme, ils sont plusieurs, ils s’attaquent à une partie du système de défense, quand ils gagnent une bataille, les microbes s’en vont à une autre place, et puis là, ils salissent tout l’organisme.” (E-2)

Conséquemment aux qualificatifs attribués auparavant au microbe en rapport avec la maladie, les actions associées au microbe montrent une certaine similitude de sens. De plus, le langage guerrier est assez fréquent : des termes tels que défense, attaque, bataille, destruction témoignent de l’action réservée au microbe. Loin d’être en relation avec l’organisme humain, comme le sous-entend le concept de flore normale, le microbe semble être perçu comme l’intrus, l’envahisseur dont on décrit les ruses et procédés douteux. Une seule élève a introduit le concept de flore normale.

Le système immunitaire et l'équilibre général

De façon spontanée, les élèves ont associé microbe et maladie et ce dans un processus fataliste. Plus loin dans le discours, ils introduiront les notions de système immunitaire et d'équilibre général comme étant des facteurs pouvant avoir une influence sur le déroulement de la maladie ou sur son évitement. Sept des dix élèves se sont exprimés en rapport avec le concept de "système immunitaire". Ils parlent de l'immunité en tant que telle, de la santé du système immunitaire et du fonctionnement de ce dernier. Notons que les sujets sont familiers de la notion d'immunité, ce qui peut être imputable au fait qu'ils ont souvent participé à des séances de vaccination depuis leur jeune âge. Il n'en demeure pas moins que des images de toutes sortes semblent leur venir à l'esprit quant aux processus réactionnels déployés par l'organisme humain, souvent en analogie avec le profil guerrier de l'attaque et de la défense. Quant à l'équilibre général, l'aspect envisagé rejoint une approche globale de la santé. Six sujets expliquent ici comment l'état général d'un individu peut le prédisposer à la maladie. Nous ne parlons plus du système immunitaire, mais d'une santé de base, donnant toutes les chances à l'organisme humain de bien réagir aux différents stress de la vie courante.

"On a toujours des microbes, mais c'est l'organisme qui les élimine, si on n'est pas assez fort, notre organisme ne les éliminera pas, mais si on est en forme, notre corps va les envoyer, les détruire. C'est comme là, je dois en avoir, mais je suis capable de les combattre, parce que je suis assez forte. [...] Ceux qui sont moins malades s'alimentent mieux, font du sport, ça leur donne de la force, c'est des protéines, ça les aide, le sommeil..." (E-1)

Notons que l'idée d'un balancier oscillant entre l'état de santé et celui de maladie semble être présente chez ces sujets. L'état d'équilibre, caractérisé par une saine alimentation, une diminution des facteurs de stress, une bonne condition physique et un sommeil suffisant, est un état fragile à maintenir, mais représente une condition essentielle à une expression maximale de son potentiel de santé et de là, du potentiel immunitaire. En d'autres termes, la maladie interviendra lorsque l'un de ces paramètres sera perturbé. De plus, découlant de ces affirmations, nous constatons que c'est le premier modèle de microbe qui sous-tend ce discours, le modèle unique, mais cette fois les sujets ont introduit une nouvelle instance dans le processus maladif : un hôte. L'état de santé global de ce dernier déterminera si oui ou non le processus maladif pourra se mettre en route. Bref, que l'équilibre général ait été perturbé par des maladies microbiennes répétées ou par un mauvais fonctionnement basal de l'organisme, un individu peut se prédisposer à divers types de pathologies infectieuses. Toutefois, même si les sujets reconnaissent qu'il serait souhaitable de mettre les chances de leur côté, ils semblent conscients que cela ne constitue pas en soi une garantie à 100 %.

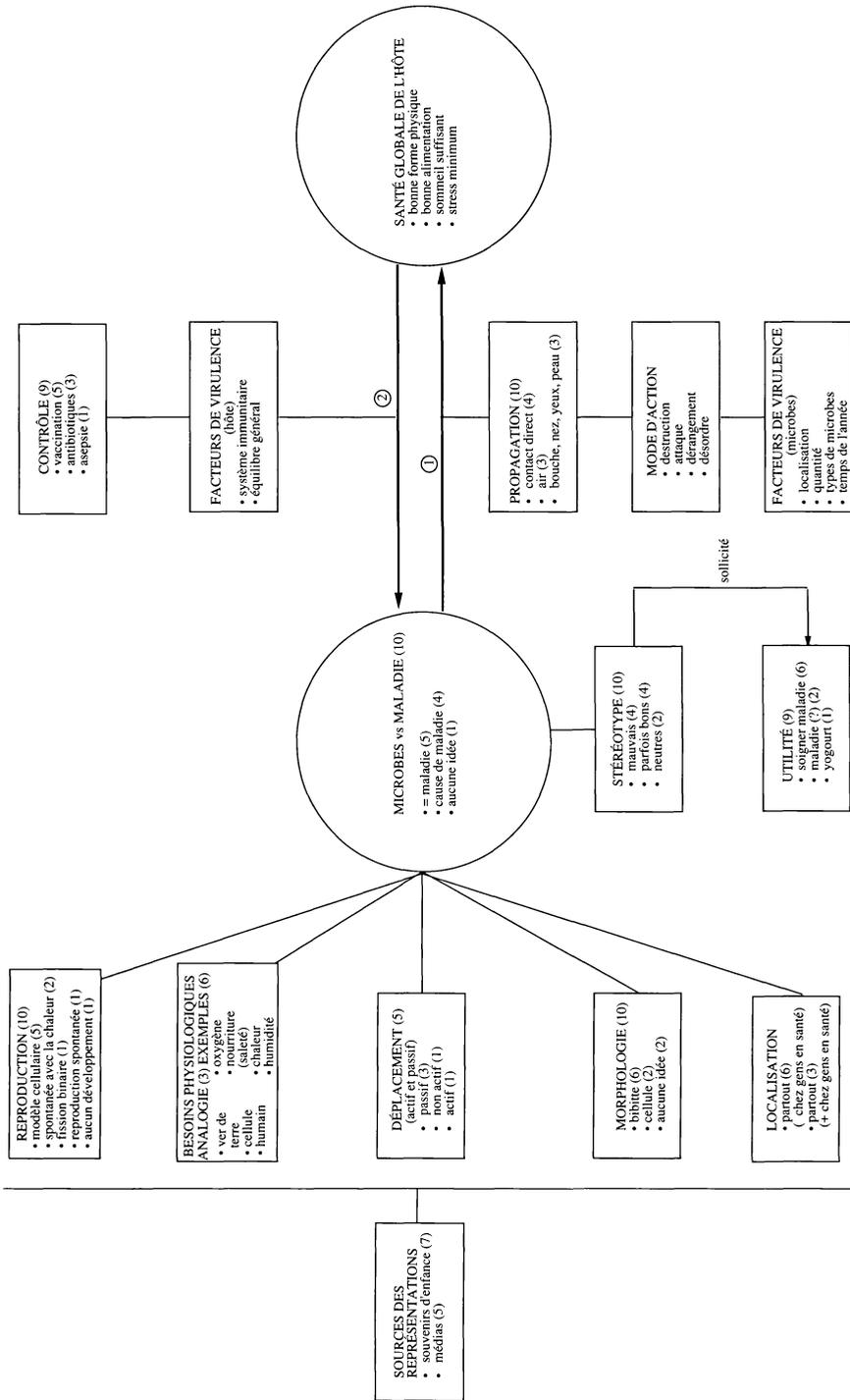


Figure 1 : Schématisation des catégories émergentes descriptives de la représentation du microbe chez de jeunes adultes.

3.2. Deuxième niveau d'analyse

Élaboration d'un modèle théorique

Avec les matériaux d'analyse de premier niveau, un deuxième niveau d'abstraction peut être inféré à partir de certains éléments du discours des élèves. En effet, *a posteriori*, deux dimensions peuvent être identifiées et ainsi permettre la caractérisation des tendances : la première dimension en rapport avec le statut ontologique accordé au microbe (un être en soi bon, neutre ou mauvais), et la deuxième traitant de la relation hôte-microbe (aspect statique ou dynamique). Ces deux dimensions peuvent être conjuguées entre elles au moyen d'un tableau à double entrée afin d'obtenir ce que nous qualifions de **visions** de la relation hôte-microbe : unique-statique, unique-dynamique, multiple-statique et multiple-dynamique. Mais avant d'appliquer notre modèle théorique, voici deux exemples pour illustrer ce dont il s'agit.

Comment se manifeste une vision unique-statique ? Elle correspond en fait au modèle unique de microbe combiné à l'aspect statique de la relation hôte-microbe. L'élève se prononçant ainsi ne se perçoit pas comme un sujet actif dans la relation hôte-microbe. Si le qualificatif "mauvais" est celui qu'il attribue aux microbes, le fait d'entrer en contact avec ces derniers sera un facteur à lui seul suffisant pour développer la maladie car il n'envisage aucune réaction de sa part, bref cela relèvera de la fatalité. La vision unique-statique correspond à une représentation du microbe qui est essentiellement bon, ou neutre, ou mauvais s'inscrivant de façon unidirectionnelle dans son rapport avec l'hôte. A l'opposé, la vision multiple-dynamique résulte de la combinaison du modèle multiple, soit l'utilisation d'au moins deux qualificatifs (mauvais et neutre, mauvais et bon...), et de l'aspect dynamique de la relation hôte-microbe. Par exemple, pour l'élève présentant cette vision, il y aurait des bons microbes et des mauvais microbes et la santé globale serait tributaire d'un juste équilibre entre ces deux composantes via la notion de flore normale.

Visions associées aux différentes catégories

Nous avons remarqué que, selon le thème traité, les élèves font appel à différentes visions de la relation hôte-microbe. Ainsi, pour les rubriques suivantes : taxonomie, stéréotypes de microbe, mode d'action et mode de propagation, la vision qui prévaut est "unique-statique". En d'autres termes, pour l'ensemble de ces rubriques, le microbe est perçu comme ayant un profil unique (mauvais) et aucune réaction n'est possible du côté de l'hôte (statique). Dès que sont abordées les notions de système immunitaire et d'équilibre général, un rôle actif est automatiquement attribué à l'hôte, ce dont témoigne la vision unique et dynamique à laquelle ils font appel de façon exclusive. Il est possible de noter ce phénomène dans la catégorie "contrôle" et ce, sur deux plans : lorsqu'il est question d'antibiotique et de vaccination. Dans le premier

cas, la vision unique-statique prévaut alors que pour le second, ce sera la vision unique-dynamique.

Après une compilation des visions, il est possible de constater que la vision unique-statique est celle qui prévaut dans les discours (50 sur 79). La vision unique-dynamique vient au second rang (21 sur 79) dont 18 sous les rubriques système immunitaire, équilibre général et vaccination. Les autres visions sont distribuées de la façon suivante : sept à la rubrique "multiple-statique" et une à la rubrique "multiple-dynamique".

Partant de ces considérations, il apparaît important de constater que le concept de flore normale semble loin d'être acceptable par les élèves en situation d'apprentissage, parce que non compatible avec les construits qu'ils ont élaborés. Il est nécessaire de développer l'aspect dynamique précédemment décrit pour introduire l'idée de flore normale. C'est une composante de la santé globale qui, lorsqu'elle est modifiée, prédispose à la maladie et cette dimension n'apparaît pas dans les discours. Telle que nous l'avons décrite auparavant, la vision multiple-dynamique est grossière si on la compare aux objectifs d'une vision globale de l'être humain et d'une intégration des divers systèmes par le concept d'homéostasie.

4. INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

Malgré des différences entre les publics interrogés et les différents concepts à l'étude, les résultats se comparent de façon étonnante avec les recherches antérieures. Nagy (1953) a noté que le mot *microbe* ("*germ*")¹ est utilisé par les enfants pour désigner tout micro-organisme causant une maladie ; ils ont eu recours, tout comme nos sujets, au modèle de l'insecte. De plus, pour les enfants de la recherche de Nagy (1953) et les participants à cette recherche, l'activité microbienne est perçue comme étant dommageable, les microbes vivant au détriment du corps humain. Plus récemment, Vasquez (1985) a étudié les représentations de microbe auprès d'adolescents de douze à quinze ans. Malgré le fait que le groupe d'âge soit différent, plusieurs points sont similaires aux résultats présentés ici : le recours à l'animisme, l'association "mauvaise-hygiène" - microbe et l'utilisation de la métaphore guerrière en des termes identiques à ceux que nous avons présentés (petites bibittes qui "*attaquent*", le corps se "*défend*", le "*combat*" sera plus fort). La tendance majeure de ces études est celle d'associer **toutes** les maladies à des microbes, sans aucune référence aux désordres organiques ou fonctionnels. D'autre part, lorsque le concept de santé est étudié par l'équipe de Brumby (1987), c'est l'association "santé = absence de maladie" qui prévaut, ce qui semble correspondre à une vision réductionniste de l'homéostasie.

1. Le terme "*germ*" (*germ theory of disease*, Norton, 1986) est demeuré dans le langage populaire anglophone équivalent au terme "microbe".

Ce que nous observons dans les représentations de microbe, c'est l'hétérogénéité des visions. Le discours des élèves se modifie selon le thème à l'étude. Ainsi, les visions unique-statique et unique-dynamique ont été utilisées simultanément par les mêmes élèves et ce, dans des rubriques différentes. Ceci rejoint l'idée de Niedderer et Schecker (1991) selon laquelle la représentation est fonctionnelle et spécifique à un contexte donné. Par rapport aux représentations de microbe de nos sujets, le concept de flore normale ne peut virtuellement trouver place et ce, principalement à cause de la vision unique (mauvais) statique (aucune relation hôte-microbe).

Le rôle de la dimension sociale (Solomon, 1991) dans la représentation de microbe a été scruté grâce à une question portant sur l'origine de ces images lorsqu'ils décrivent le mode d'action des microbes. Voici ce qu'ils ont répondu :

“Si j'échappais un bonbon par terre, mes parents me disaient de ne pas le reprendre parce qu'il y avait des microbes dessus. [...] Je pensais que le microbe pouvait détruire notre langue.” (E-3)

“Se défendre contre les microbes, on va mettre une tuque [bonnet], on va mettre un foulard, on va prendre tel médicament, c'est pour se défendre : ça a toujours été le vocabulaire utilisé.” (E-9)

“C'est peut-être pour ça qu'on se fait une idée des microbes, quand nos parents nous disent de ne pas faire quelque chose, c'est parce que c'est pas bien, puis attraper des microbes, ça ne devait pas être bon...” (E-2).

Sept individus ont rapporté des souvenirs d'enfance reliés à leur expérience avec les microbes. On note une constante dans les discours : qu'il s'agisse du siège de toilette, du bonbon par terre, des doigts que l'on porte à la bouche après être allé à la salle de bain, de la fontaine dans le parc ou d'une personne malade, les microbes semblent être perçus par les parents, et de là par les enfants, comme des entités extérieures pouvant “s'attaquer” ou “envahir” l'individu si ce dernier n'y prend garde. Ces construits sont si profondément ancrés et présentent une telle viabilité que l'apprenant ne serait pas porté à les questionner et retiendrait plutôt les expériences et les informations pouvant les consolider.

En plus des souvenirs d'enfance, il faut tenir compte des médias (documents publicitaires, émissions de vulgarisation) comme étant des sources possibles dans l'élaboration de la représentation ; il est intéressant de noter que la majorité des images présentées (gros poilus avec des pattes, petits “packman” qui gobent tout) ne sont pas contextualisées, que l'analogie n'est pas explicite. Bref, les gens ne sont pas au fait des règles du jeu et ont parfois peine à dissocier le message de la caricature.

CONCLUSION

Nous savons que les représentations, en plus de permettre de donner un sens aux expériences que nous vivons, viennent nourrir nos attitudes, nos préjugés et nos comportements. Considérant les discours présentés par de futurs professionnels de la santé à l'ère du SIDA et des MST, cette réalité s'avère quelque peu effrayante pour le concept de microbe. Alors que faire, en situation d'enseignement de la microbiologie, devant ce constat ? Nous avons vu que la stratégie du conflit cognitif (Posner & Gertzog, 1982) ne semblait pas présenter à elle seule une garantie de changement conceptuel (Asoko et al., 1991), et que les aspects affectifs devaient être considérés (Head, 1986 ; Niederer & Schecker, 1991).

Nous proposons deux approches permettant une prise en compte des éléments affectifs : l'approche synchronique et l'approche historique. L'approche synchronique fait référence à deux points de vue existant à une même époque. Ainsi, nous pourrions étudier les représentations de microbe en parallèle avec le savoir officiel contemporain : sur quoi reposent les idées communiquées par les aînés ("*granny science*") ? Dans quels contextes sont-elles élaborées et applicables ? En quoi se distinguent-elles du savoir officiel sur la question ? Ainsi, les apprenants pourraient prendre conscience de deux modes de connaissance : le savoir commun, partagé par un groupe social et élaboré dans des conditions particulières en réponse à des problèmes précis, et le savoir officiel, issu d'un consensus de chercheurs qui ont des préoccupations différentes et qui répondent à des questions différentes. Cette approche présenterait un avantage certain car l'enseignement prend rarement en charge l'explication du champ d'application des concepts nouvellement introduits (Tiberghien, 1988).

D'autre part, en se référant à l'histoire du concept de microbe (Giordan, 1987), il semble qu'un parallèle puisse être établi entre les représentations de nos élèves et les grandes idées qui ont prévalu dans le temps en rapport avec le mot de Sédillot ("microbe" est le nom proposé par Sédillot : dans Giordan, 1987). Ainsi, il s'agit d'effectuer l'étude du savoir officiel de l'époque en relation avec le savoir officiel contemporain. Nous parlons d'un même mode de connaissance (le savoir officiel des scientifiques) mais sur un continuum temporel. Une stratégie d'enseignement axée sur l'approche historique pourrait permettre justement cette distanciation affective, puisque le débat porterait non pas sur les représentations des étudiants, mais bien sur celles que d'autres individus ont présentées. Les stratégies de jeux de rôles ou de débats pourraient présenter des hypothèses de travail intéressantes.

Bref, les jeunes adultes que nous avons rencontrés ont effectivement élaboré des représentations structurées en rapport avec le concept de microbe. Issus des interactions avec la famille et différentes sources d'informations, ces construits sont incontournables ; ils présentent une viabilité et un pouvoir explicatif tels que les élèves ne sont pas enclins à les questionner. En

situation d'enseignement, il faudra "faire avec" si nous voulons qu'une vision dynamique de la relation hôte-microbe puisse prendre forme. Afin de s'inscrire dans l'approche de Boucher et Dubois (1989), l'étude de la flore normale modifiée (déséquilibre suite à une antibiothérapie) pourrait être une voie à considérer. Ainsi, étant donné l'importance du contexte social dans l'élaboration de la représentation, la stratégie d'enseignement utilisée pourra donc puiser à même le contexte social et la vie quotidienne pour en délimiter le champ d'application, qu'il soit contemporain ou historique.

BIBLIOGRAPHIE

BARDIN L. (1977). *L'analyse de contenu*. Paris, PUF.

BOUCHER Y. & DUBOIS A. (1989). *Les pathologies infectieuses*. Document de travail, Collège Limoilou.

BRUMBY M.H., GARRARD J. & AUMAN J. (1985). Students' perception of the concept of health. *European Journal of Science Education*, vol. 7, n° 3, pp. 307-323.

DE ROSNAY J. (1975). *Le microscope*. Paris, Seuil.

DRIVER R. & EASLEY J.A. (1978). Pupils and Paradigms. *Studies in Science Education*, vol. 5, pp. 61-84.

DRIVER R. (1981). Pupil's Alternative Frameworks in Science. *European Journal of Science Education*, vol. 3, n° 1, pp. 93-101.

GAUTHIER B. (1984). *Recherche sociale*. Québec, Presses de l'Université du Québec.

GILBERT J.K. & WATTS M.D. (1983). Concepts, Misconceptions and Alternative Frameworks: Changing Perspectives in Science Education. *Studies in Science Education*, vol. 10, pp. 61-98.

GIORDAN A. & MARTINAND J.-L. (1988). État des recherches sur les conceptions des élèves en biologie. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Annales de Didactique des Sciences*. Mont Saint-Aignan, Publications de l'Université de Rouen, pp. 11-63.

GIORDAN A. & DE VECCHI G. (1987). *Les origines du savoir*. Paris, Delachaux & Niestlé.

GIORDAN A. (dir.) (1987). *Histoire de la Biologie*. Tome 1. Paris, Lavoisier.

HEAD J. (1986). Research Into "Alternative Frameworks": Promise and Problems. *Research in Science & Technological Education*, vol. 4, pp. 203-211.

JODELET D. (1984). Réflexions sur le traitement de la notion de représentation en psychologie sociale. *Communication Information*, vol. 6, pp. 15-41.

JODELET D. (1989) *Les représentations sociales*. Paris, PUF.

LAWSON A. (1988). The Acquisition of Biological Knowledge During Childhood : Cognitive Conflict or Tabula Rasa ? *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 25, pp. 185-197.

LINCOLN Y.S. & GUBA E.G. (1985). *Naturalistic Inquiry*. Beverly Hills, Sage.

MICHELAT G. (1975). Sur l'utilisation de l'entretien non-directif en sociologie. *Revue Française de Sociologie*, vol. XVI, pp. 229-247.

NAGY M.H. (1953). The representation of "germs" by children. *Journal of Genetic Psychology*, vol. 83, pp. 227-240.

NIEDDERER H. & SCHECKER H. (1991). Towards an Explicit Description of Cognitive Systems for Research in Physics Learning. In R. Duit, F. Golberg & H. Niedderer (Eds). *Research in Physics Learning : Theoretical Issues and Empirical Studies*. Proceedings of an International Workshop. Germany, University of Bremen, pp. 74-98.

NORTON C.F. (1986). *Microbiology* (2nd ed.). New York, Addison Wesley.

PFUNDT H. & DUIT R. (1991). *Students' Alternative Frameworks and Science Education* (3rd ed.). Kiel, Institute for Science Education.

POSNER G.J. & GERTZOG W.A. (1982). The Clinical Interview and the Measurement of Conceptual Change. *Science Education*, Vol. 66, pp. 195-209.

RENÉ É. (1992). *Études de la représentation du concept de "microbes" chez de jeunes adultes*. Mémoire de maîtrise inédit, Québec, Université Laval.

SCOTT P.H., ASOKO H.M. & DRIVER R. (1991). Teaching for conceptual change : A review of strategies. In R. Duit, F. Golberg & H. Niedderer (Eds). *Research in Physics Learning : Theoretical Issues and Empirical Studies*. Proceedings of an International Workshop. Germany, University of Bremen, pp. 310-329.

SOLOMON J. (1991). Image of physics : how students are influenced by social aspects. In R. Duit, F. Golberg & H. Niedderer (Eds). *Research in Physics Learning : Theoretical Issues and Empirical Studies*. Proceedings of an International Workshop. Germany, University of Bremen, pp. 141-154.

STRAUSS A. & CORBIN J. (1990). *Basics of Qualitative Research - Grounded Theory Procedures and Techniques*. Newbury Park, CA, Sage.

TIBERGHEN A. (1988). Phénomènes et situations matérielles : quelles interprétations pour l'élève et le physicien ? In N. Bednarz & C. Garnier (Eds), *Construction des savoirs. Obstacles & conflits*. Montréal, CIRADE et Agence d'ARC, pp. 93-102.

VASQUEZ E. (1985). Les représentations des enfants sur les microbes. *Feuilles d'épistémologie appliquée et de didactique des sciences*, vol. 7, pp. 31-36.

WEST L.H. & PINES L.A. (Eds) (1985). *Cognitive Structure and Conceptual Change*. New York, Academic Press.



Autour de l'idée d'histoire des sciences : représentations discursives d'apprenti(e)s-enseignant(e)s de sciences

Benoit GAGNÉ

Département de didactique
Faculté des sciences de l'éducation
Université Laval, Québec
Canada, G1K 7P4

Résumé

Dans la mesure où des éléments d'histoire des sciences s'avèrent essentiels à une compréhension adéquate de la nature et des méthodes de la science, et dans la mesure où les étudiants et étudiantes en formation à l'enseignement des sciences deviendront les principaux interprètes du savoir scientifique en milieu scolaire, il nous a semblé important de s'intéresser à leurs représentations de l'histoire et de l'histoire des sciences. Dans ce contexte, une étude empirique a été réalisée au cours de laquelle des apprentis-enseignants ont été invités à exprimer leurs points de vue sur ces sujets. Des extraits jugés significatifs de leurs propos sont présentés et commentés.

Mots clés : sciences, histoire des sciences, représentations, formation à l'enseignement.

Abstract

Since consideration of the historical dimension of science appears to be a prerequisite for an appropriate understanding of the nature and the methods of science, and since preservice science teachers are the ones who will be the main interpreters of scientific knowledge in the school environment, it was thought important to characterize their conceptions of history and of the history of science. In this line of thinking, a context was organized in which it was possible to investigate preservice science teachers' conceptions. The paper presents the context of the study and provides excerpts of the interviews.

Key words : *science, history of science, conceptions of history, science teacher education.*

INTRODUCTION

L'intérêt des chercheurs en didactique pour les représentations des enseignants et futurs enseignants de sciences est manifeste, comme en témoignent les études effectuées sur leurs représentations à l'égard de la science, de son apprentissage et de son enseignement (Koulaidis & Ogborn, 1989 ; Aguirre et al., 1990 ; Gallagher, 1991 ; Abell & Smith, 1992 ; Désautels et al., 1993). Ces travaux indiquent de façon générale que les représentations qu'entretiennent les enseignants exercent une influence importante sur les pratiques pédagogiques qu'ils mettent en œuvre dans la classe et le laboratoire. Brickhouse (1989), par exemple, a montré l'influence qu'exerçait sur leur enseignement la "philosophie" des sciences de trois enseignants de sciences au secondaire. Ainsi, un enseignant qui considérait les manipulations précises et reproductibles comme une activité de première importance mettait l'accent sur les aspects procéduraux lors des activités de laboratoire ; par contre, un autre enseignant pour qui l'interaction théorie-expérience était une caractéristique essentielle de la science présentait d'abord les fondements conceptuels relatifs au problème étudié, en discutait ensuite avec ses étudiants, puis leur demandait de faire leurs propres prédictions avant d'aller au laboratoire.

Une démarche semblable (combinaison d'entretiens et d'observations en classe) a été réalisée dans le champ de la didactique de l'histoire par Evans (1989, 1990). A l'instar des études précédentes qui suggéraient une relation étroite entre les représentations de la science et celles entretenues à l'égard de son apprentissage ou de son enseignement, l'étude d'Evans montre comment les conceptions que des enseignants d'histoire se font de la nature et du rôle de l'histoire s'articulent aux conceptions qu'ils se font de son enseignement. Ainsi, pour l'enseignant de type "raconteur", la connaissance d'autres époques, d'autres lieux et d'autres gens constitue la principale raison d'être de l'histoire ; celui-ci axe en conséquence son enseignement sur la narration

d'événements historiques, un récit bien mené étant pour lui le meilleur moyen de rendre l'histoire vivante aux yeux des étudiants. L'enseignant de type "scientifique" vise pour sa part une attitude d'objectivité et de neutralité, et croit que l'interprétation et l'explication sont les aspects les plus intéressants de l'histoire; celui-ci privilégie alors, sur le plan pédagogique, la discussion d'événements historiques à partir de documents témoignant d'interprétations concurrentes.

En ce qui concerne plus spécifiquement l'histoire des sciences, Asselin (1988) s'est entretenue avec des enseignants de sciences au secondaire et au collégial (niveau intermédiaire entre le secondaire et l'université) afin de cerner leurs représentations de cette dernière. Son objectif était d'identifier la tendance historiographique dominante (événementielle, interne ou externe) qui se dégage de leurs discours. Après avoir interrogé trente-six d'entre eux sous forme d'entretiens semi-dirigés, elle en conclut que la majorité (soit les trois-quarts) expriment des idées qui témoignent d'une conception événementielle de l'histoire des sciences. Dans la mesure où l'actuelle formation à l'enseignement des sciences n'est pas radicalement différente de celle qu'ont reçue ces enseignants, il n'est pas déraisonnable de penser que des apprentis-enseignants de sciences puissent également envisager l'histoire des sciences de façon événementielle. Une telle conception pose problème à plusieurs égards. Historiquement la plus ancienne, l'histoire événementielle des sciences se serait surtout développée à partir du XVIII^e siècle, selon Kuhn (1977). Souvent écrite par des scientifiques à la retraite, ce type d'histoire sanctionne et légitime, assumant de la sorte une fonction d'auto-justification. Le développement de la connaissance scientifique y est présenté non comme une voie retenue parmi d'autres sur la base de certains critères, mais comme ayant un caractère d'autonomie et de nécessité où la présence humaine n'aurait que peu à faire. Et comme on n'y raconte que ce qui, après coup, paraît utile et rationnel, le savoir scientifique prend la forme d'une structure simple se développant de façon cumulative et linéaire. Ce type de présentation historique se retrouve encore aujourd'hui dans plusieurs manuels de science et ouvrages de vulgarisation. Stengers (1986, p. 138) décrit ainsi l'effet qu'une telle histoire linéarisée des "succès" de la science peut produire chez l'étudiant :

"L'étudiant qui lit ces manuels est au plus loin de pouvoir se douter de la diversité de la manière avec laquelle un problème, dont il va étudier la solution contemporaine, a été conçu, présenté, étudié dans le passé. Par contre, il tendra à penser que, depuis toujours, la connaissance que nous avons de ce type de problème approxime quelque chose dont lui va, finalement, se voir offrir la meilleure approximation actuellement sur le marché."

Jenkins (1990) mentionne à cet égard que l'histoire des sciences présente dans les curricula d'éducation à la science a traditionnellement joué un rôle de légitimation à l'égard d'une vision positiviste de la science. Cette situation n'est sans doute pas étrangère à la représentation réaliste et positiviste

de la science à laquelle adhèrent de nombreux étudiants et de nombreux enseignants de sciences. L'introduction dans la formation à l'enseignement de différentes perspectives historiques et philosophiques sur les sciences constituerait, au dire de Jenkins (1992), un des moyens les plus appropriés de remédier à cette situation. Mais si l'histoire des sciences peut jouer un rôle positif dans la formation à l'enseignement en contribuant à communiquer une conception moins dogmatique de la science, elle peut également être utilisée pour supporter des dogmes et maintenir le *statu quo*. Nous avons souligné ailleurs (Gagné, 1991) que la multiplicité des productions historiennes sur les sciences ne signifiait pas qu'elles ont toutes la même pertinence didactique, et avons fait état de notre préférence pour une histoire sociale des sciences qui, à la différence d'une histoire événementielle limitée à la description du fait brut et d'une histoire intellectuelle limitée à la filiation des idées, se veut à la fois histoire des sciences et des scientifiques, histoire des savoirs et des pratiques. Une telle histoire sociale ne se présente donc pas comme l'histoire de la vérité émergeant de l'erreur, mais comme une étude socio-historique des débats et des controverses du passé où les "vainqueurs" sont mis sur le même pied que les "vaincus". Elle devient dès lors tant l'histoire de la construction d'un savoir que celle de la constitution d'un groupe social (une "communauté" de scientifiques), ce qui rend caduque la dichotomie contenu-contexte en tant qu'opposition entre nécessité cognitive et contingence sociale. Pour qu'un tel discours puisse faire sens pour les apprentis-enseignants, il importe toutefois - ainsi que nous l'avons précisé ailleurs (Désautels et al., 1993) - qu'une considération explicite soit apportée à leurs représentations initiales, d'une part, et que les activités soient organisées de façon à ce qu'ils puissent en interroger les fondements et les confronter à d'autres possibles, d'autre part. C'est dans ce contexte que nous nous sommes intéressé à leurs représentations de l'histoire et de l'histoire des sciences.

1. ÉLÉMENTS MÉTHODOLOGIQUES

Puisque notre étude concerne les représentations, l'entretien de type semi-structuré nous a paru constituer un instrument de collecte approprié. Cet instrument est à la fois souple et interactif par la latitude qu'il laisse à la personne interrogée pour associer les éléments qui rendent le mieux compte de sa pensée, et par la possibilité qu'il offre simultanément au chercheur d'intervenir à tout moment pour demander des précisions ou des clarifications. Il permet ainsi (à la différence d'autres instruments plus fermés, tels les tests et questionnaires à développement restreint) de suivre la dynamique à l'œuvre dans le raisonnement de la personne interrogée et d'appréhender ainsi la complexité inhérente aux représentations¹. La construction du protocole d'entre-

1. Cette complexité vient de ce que les représentations d'une personne renvoient aux multiples significations (notions, croyances, attitudes, valeurs, etc.) dont elle dispose pour organiser ses expériences et donner sens aux événements de son quotidien. A cet égard, voir Jodelet (1989).

tien a donné lieu à plusieurs démarches, depuis la recension et l'analyse critique des écrits jusqu'à la passation d'entretiens exploratoires avec quatre apprentis-enseignants. Les questions posées sont présentées dans l'encadré ci-après.

Questions posées lors des entretiens

Qu'évoque pour toi le terme "histoire des sciences" ? A quoi celle-ci te fait-elle spontanément penser ?

L'histoire des sciences a-t-elle quelque chose de particulier par rapport à d'autres histoires, telles l'histoire des villes ou l'histoire du commerce, par exemple ?

A quoi s'intéressent les historiens des sciences, selon toi ? Si tu étais historien des sciences, vers quoi porteraient tes recherches ? Comment fait-on de la recherche en histoire des sciences ? La recherche historique peut-elle être considérée comme une activité scientifique ?

Peut-on distinguer la science passée de la science présente ? Si oui, comment ? Qu'est-ce que le passé en histoire des sciences ? Comment peut-on le connaître ?

Qu'est-ce qu'un document en histoire des sciences ? Quelles en sont les principales sources ?

Qu'est-ce qu'un événement en histoire des sciences ? Peux-tu en mentionner un ? Comment sait-on que c'est un événement ?

Comment vois-tu l'histoire des sciences par rapport à la philosophie des sciences ?

Le traitement des matériaux recueillis a donné lieu à plusieurs opérations analytiques. Nous avons procédé, dans un premier temps, à un découpage des matériaux selon les objets de réflexion qui caractérisent les discours, suivant en cela la technique d'analyse comparative et constante (Glaser & Strauss, 1967). Cette première opération nous a permis de constituer un relevé des objets de discours, c'est-à-dire ce dont les apprentis-enseignants ont parlé. Nous avons ensuite cherché à construire la représentation à partir de laquelle ces objets de discours prennent relief et sens afin de rendre compte des points de vue véhiculés par les discours, tout en évitant le confinement à un premier niveau de signification. Les sujets interrogés proviennent d'un groupe d'apprentis-enseignants ayant participé à la mise en œuvre d'une stratégie originale de formation à l'enseignement des sciences conçue par Jacques Désautels et Marie Larochelle, et brièvement relatée dans Désautels et al. (1993). Dès le début de la mise en œuvre de cette stratégie, ces apprentis-enseignants ont été invités à participer à un entretien individuel axé sur

l'histoire des sciences et son utilisation pédagogique. Onze apprentis-enseignants se sont portés volontaires. Leur profil se présente comme suit : deux d'entre eux ont respectivement une formation universitaire en physique, en biologie, en biochimie et en bio-agronomie, les autres ayant respectivement leur formation en chimie, en génie physique et en génie minier ; leur âge varie de vingt-deux ans sept mois à trente-six ans dix mois ; un seul sujet possède une expérience en enseignement des sciences ; un seul a suivi un cours en philosophie des sciences et aucun n'en a suivi en histoire des sciences ; quatre ont vécu au moins une expérience de travail en recherche scientifique.

2. LES DISCOURS DES APPRENTIS-ENSEIGNANTS

Dans ce qui suit, nous faisons état des points saillants des propos tenus par les apprentis-enseignants¹. Ces propos sont regroupés sous les quatre rubriques suivantes : "Caractérisation de l'histoire des sciences", "Sciences, histoire des sciences et philosophie des sciences", "Scientificité de l'histoire" et "Les faits".

2.1. Caractérisation de l'histoire des sciences

La question "*Qu'évoque spontanément pour toi le terme « histoire des sciences » ?*" a été posée au début de chaque entretien. Elle servait en quelque sorte d'entrée en matière et se voulait la plus large possible. Il y fut notamment répondu qu'elle évoquait "*l'évolution du savoir scientifique dans le temps*", "*les chercheurs, leurs cheminements et leurs méthodes*", "*l'ensemble des découvertes effectuées depuis les origines de la science*", "*les vécus et les réflexions des scientifiques*". En raison sans doute de la formulation très générale de la question, les énoncés étaient eux-mêmes formulés, la plupart du temps, en termes très généraux, comme l'indiquent les extraits précités.

La question "*L'histoire des sciences a-t-elle quelque chose de particulier par rapport à d'autres histoires, telles par exemple l'histoire des villes ou l'histoire du commerce ?*" visait pour sa part à amener les apprentis-enseignants à se prononcer sur des éléments susceptibles de constituer la singularité des sciences, c'est-à-dire des éléments susceptibles de distinguer les sciences d'autres domaines de savoirs et de pratiques. Un certain nombre d'attributs tels la complexité, la stabilité et l'universalité ont pu, sur la base des

1. Le présent article fait état d'une partie des travaux réalisés dans le cadre de notre recherche de doctorat en didactique des sciences. Deux thèmes (l'histoire des sciences, son utilisation dans l'enseignement) constituent le canevas original des entretiens. On ne retient ici que le premier thème, tout en se limitant à la première des deux séries d'entretiens. De plus, étant donné l'abondance des matériaux, les extraits présentés le sont à titre d'illustrations traduisant la dynamique des discours. Enfin, les symboles qui suivent les énoncés renvoient à l'auteur du discours (S-1 signifie sujet 1 et ainsi de suite), suivi de la page de la transcription d'où est extraite la citation.

propos tenus, être inférés comme étant caractéristiques du savoir scientifique. Un apprenti-enseignant a ainsi fait allusion à la complexité inhérente au phénomène scientifique en suggérant que les documents qui présentent un intérêt historique sont à son avis d'un accès plus difficile en histoire des sciences qu'ils ne le sont dans d'autres histoires :

“Je pense que [l'histoire des sciences] ça doit être un peu plus compliqué que l'histoire des villes. [Pour cette dernière] tu as tous les registres, disons les registres des mariages, les ventes de terrains, tout ça. D'après moi, on peut plus facilement retracer l'histoire générale d'une ville que l'histoire scientifique.” (S-2 : 9)

Pour un autre apprenti-enseignant, l'histoire nationale (en l'occurrence l'histoire du Canada) serait susceptible de révisions ou de transformations majeures, tandis que l'histoire des sciences apparaîtrait relativement stable. Celle-ci pourrait être enrichie par la mise au jour de nouveaux “écrits datés”, mais ne pourrait guère faire l'objet de renversements de perspective. L'histoire des sciences serait en quelque sorte écrite une fois pour toutes, exception faite d'éventuelles querelles de priorité qui prêteraient davantage à interprétation :

“Le problème, c'est que les histoires sont souvent un peu biaisées. Je regarde l'histoire des Indiens. Mes parents me parlent parfois de ça. L'histoire qu'eux ont vue, c'est que les Indiens étaient des méchants et tout ça. On se rend compte aujourd'hui qu'ils n'étaient peut-être pas si méchants que ça. Et que ceux qui les colonisaient, les Européens, n'avaient pas nécessairement le beau rôle. Du côté « science », c'est à savoir si la personne [l'historien] s'est basée sur des écrits datés et si ces écrits sont assez précis dans le temps. Tu ne peux pas tellement changer ça. Tu ne peux pas dire qu'une théorie provient de quelqu'un d'autre s'il était le seul. S'il y en a deux [scientifiques] à découvrir à peu près la même chose en même temps, alors là, il peut y avoir de petits changements. Mais je pense que ça [l'histoire des sciences] ne doit pas changer énormément.” (S-11 : 11)

Ce même sujet cherchera plus loin à caractériser la science sous l'aspect de son universalité, par opposition aux événements socio-politiques. En voulant mettre cet aspect en avant, celui-ci prendra cependant conscience de la faiblesse de son raisonnement, alors même qu'il l'énonce verbalement :

“L'histoire des sciences a peut-être quelque chose de plus [au sens où] une découverte faite dans un petit bassin [de population] va ensuite influencer la terre au complet. Tandis que ce qui se passe à Québec ou à Montréal, ou dans une ville quelconque... Quoiqu'une révolution qui se produit dans un petit patelin... toute la terre va le savoir aussi. Non, je ne vois pas vraiment de différence [avec d'autres histoires].” (S-11 : 28)

Un autre apprenti-enseignant a eu recours de façon récurrente et marquée à la métaphore guerrière pour soutenir qu'il n'y a rien a priori qui soit de

nature à mettre l'histoire des sciences dans une catégorie à part. Pour lui, en effet, l'histoire qui parvient jusqu'à nous et à laquelle nous avons accès constitue d'abord la vision des vainqueurs, l'histoire de ceux qui ont "gagné" :

"L'histoire des sciences, c'est comme l'histoire du Canada. Tout le monde sait qu'à un moment donné des guerres ont fait que les Anglais ont gagné le Canada. Avant eux, c'étaient les Français, et puis avant les Indiens. C'est un peu la même chose qui fait qu'en science telle pensée s'oppose à telle autre : il y a des guerres. Des guerres, pas pareilles si tu veux, des guerres internes, qui ont fait que c'est cette histoire que l'on connaît. [...] L'histoire est écrite par ceux qui ont gagné. Les Amérindiens ne l'ont pas écrite l'histoire. Ils ont leur idée sur l'histoire, mais ce ne sont pas eux qui l'ont écrite." (S-5 : 14)

Enfin, plusieurs apprentis-enseignants ont eu de la difficulté à préciser, ne serait-ce que sommairement, ce qui pourrait caractériser l'histoire des sciences par rapport à d'autres histoires, comme en témoignent les deux extraits suivants :

"Je ne me suis jamais posé la question spontanément. [...] J'allais dire que l'histoire des sciences s'est peut-être faite sur une plus longue période de temps. Mais les autres histoires se font aussi sur de longues périodes de temps et ça continue. Franchement, tout de suite comme ça, il n'y a rien que... c'est un point de vue que je n'ai pas envisagé, que je ne me suis jamais posé." (S-4 : 19)

"L'histoire des sciences réfère d'abord à ce que les hommes de l'époque ont produit comme connaissances. Mais si je pense par exemple à la philosophie, alors je trouve difficile de faire une différence entre ce que serait l'histoire de la philosophie et ce que serait l'histoire des sciences." (S-10 : 3)

2.2. Sciences, histoire des sciences et philosophie des sciences

A l'instar du dernier sujet cité, plusieurs apprentis-enseignants ont eu de la difficulté à distinguer entre l'histoire et la philosophie, d'une part, et à préciser les relations que ces deux disciplines sont susceptibles d'entretenir avec les sciences, d'autre part. La plupart d'entre eux ne savaient ainsi que répondre lorsqu'il leur était demandé de situer l'histoire des sciences par rapport à la philosophie des sciences (*"Comment vois-tu l'histoire des sciences par rapport à la philosophie des sciences ?"*). Des quatre sujets qui apportèrent quelques éléments de distinction, deux firent porter l'objet de la philosophie des sciences sur les aspects éthiques et moraux liés aux activités et aux productions scientifiques. Ces deux sujets semblent par ailleurs considérer l'histoire des sciences comme étant plus méthodique et factuelle, et la philosophie des sciences comme étant plus spéculative ou abstraite :

"Quand tu fais de l'histoire des sciences, tu sais où ça s'en va. La philosophie des sciences, c'est plus l'éthique. [...] C'est peut-être de

réfléchir à ce que la science peut nous apporter... réfléchir là-dessus, pourquoi l'on fait ces recherches-là. L'homme s'adapte à son milieu et même s'il n'y avait pas de science [à une certaine époque], il n'était pas nécessairement plus malheureux." (S-8 : 27-29)

"Pour moi, l'histoire, c'est plus relié à la chronologie. Ce qui est arrivé, quand c'est arrivé et tout ce qui entoure ce qui est arrivé. La philosophie, ce sont plus les implications presque morales, l'éthique. Ce que cette recherche a changé du point de vue de la vie, de notre façon de penser, de notre façon de voir l'univers. Ça, c'est plus le côté philosophique pour moi." (S-11 : 24)

Le caractère d'étrangeté de cette question, aux yeux de plusieurs apprentis-enseignants, n'est sans doute pas éloigné de la vision que Jenkins (1992) qualifie de "*vision standard de la science*" chez les enseignants de sciences, soit une vision se réclamant du sens commun et prétendant n'avoir aucun lien spécifique avec une quelconque philosophie. Un sujet, quelque peu atypique par son érudition et son niveau de langage, a toutefois accordé un traitement étoffé à la question des relations entre l'histoire des sciences et la philosophie des sciences. Outre qu'il fut le seul à énoncer l'idée selon laquelle une théorie de la science ne peut se poser elle-même comme scientifique, celui-ci prit explicitement position en faveur de l'autonomie disciplinaire de la philosophie des sciences ¹ :

"La métaphysique de la science, les fondements de la science ne sont pas dans l'histoire. Peut-être qu'on peut y trouver des indices, des amorces, mais ce n'est pas nécessairement là qu'on les trouve. Ce sont deux choses indépendantes [l'histoire des sciences et la philosophie des sciences]. Pour moi, toute philosophie partant de l'histoire m'apparaît quelque peu erronée. [...] Je ne dis pas que la philosophie des sciences peut montrer historiquement la validité de toutes ses conclusions [mais] la philosophie en général peut se servir des sciences et de l'histoire des sciences pour montrer [par exemple] que la science est actuellement le nouveau mythe social." (S-7 : 21-23)

2.3. Scientificité de l'histoire

Dans la mesure où parler d'histoire des sciences, c'est reconnaître son autonomie disciplinaire mais également son appartenance à un savoir historique plus large, il nous a semblé intéressant d'aborder la question de la scientificité de l'histoire. Nous avons donc posé aux apprentis-enseignants la question suivante : "*Selon toi, la recherche historique peut-elle être considérée*

1. La question de la source (logique ou historique) d'une théorie de la science a fait l'objet de nombreux débats. Le sigle HPS ("Histoire et Philosophie des Sciences") sera par conséquent interprété fort différemment par ceux qui considèrent l'histoire des sciences et la philosophie des sciences comme deux disciplines indépendantes et par ceux qui les considèrent indissociables. Voir à cet égard Giere (1973) et Burian (1977).

comme une activité scientifique ?”. Une telle question est en effet de nature à les aider à préciser leur idée de science, et cette explicitation est constitutive de notre intérêt de recourir à l’histoire des sciences dans la formation à l’enseignement des sciences. Elle a reçu une gamme variée de réponses. Des dix sujets qui se sont prononcés à cet effet, cinq ont soutenu que l’histoire pouvait être considérée comme une science, trois ont soutenu que l’histoire n’était pas une science et deux ont mentionné n’avoir aucune idée précise. Ceux qui se sont prononcés en faveur de la scientificité de l’histoire ont notamment fait référence à sa dimension de questionnement et de réflexion, ainsi qu’à l’effort de théorisation qui sous-tend le travail de l’historien. La différenciation avec d’autres types de savoirs demeure toutefois sommaire, sinon nulle, le terme “science” étant plus ou moins coextensif à celui de “connaissance” par opposition aux œuvres de pure fiction :

“Absolument [l’histoire est scientifique]. Parce que c’est de la connaissance que tu essaies de découvrir. Des observations, de la connaissance. [...] L’historien prend des écrits, il observe des lectures de faits. C’est aussi de l’observation. Quand tu lis de vieux textes, ce sont des observations de choses qui se passaient dans ce temps-là. Tu essaies d’analyser, de tout mettre ensemble et de formuler une théorie. La même chose que les autres sciences.” (S-9 : 14)

“Il y a une histoire qui est la description de faits. On y retrouve beaucoup de dates, beaucoup de batailles, etc. Et une autre histoire qui est plus : qu’est-ce qui s’est passé, pourquoi y avait-il telle influence ? A ce niveau-là, si je conçois l’histoire de façon plus large, alors je dirais : oui, c’est une science.” (S-10 : 12)

La saveur empirico-réaliste des propos du premier sujet est manifeste dans la mesure où la connaissance scientifique préexiste à l’activité de recherche (“*c’est de la connaissance que tu essaies de découvrir*”), et dans la mesure où le fondement du savoir est implicitement posé comme reposant sur l’usage des sens, notamment sa modalité privilégiée, l’observation visuelle (l’historien “*observe des lectures de faits*”, les vieux textes sont “*des observations de choses qui se passaient dans ce temps-là*”). L’observation apparaît ainsi comme le point de départ de la démarche, la base solide sur laquelle se construit le savoir ultérieur, tandis que l’élaboration théorique en constitue l’aboutissement (“*tu essaies d’analyser, de tout mettre ensemble et de formuler une théorie*”). La possibilité d’observer et de découvrir constitue pour ce dernier un critère de scientificité qui, loin de se limiter à l’histoire, s’étend aux sciences humaines aussi bien qu’aux sciences de la nature :

“Aujourd’hui, les sciences pures, les sciences appliquées – les sciences qu’on peut dire quantitatives – sont très à l’honneur. Elles sont beaucoup plus valorisées que les sciences humaines. Mon “chum” [copain] étudie l’archéologie et ce qu’il fait est aussi scientifique que moi qui fais de la science pure [chimie]. Il essaie de découvrir des choses. Il est archéologue préhistorique, il fait des fouilles. Ce qu’il trouve, il essaie de

l'expliquer à partir de ses résultats. La même chose que quelqu'un qui fait des expériences sur une réaction chimique. C'est aussi scientifique, à mon sens." (S-9 : 14)

Ceux qui ont soutenu que l'histoire n'était pas une science – ou du moins se sont montrés sceptiques à cet égard – ont mentionné que la recherche historique ne pouvait guère, à la différence des sciences de la nature, conduire à des "découvertes". Le passé étant littéralement "passé", celui-ci peut être analysé et interprété, mais ne semble pas pouvoir se prêter à l'exploration au même titre que le "monde naturel", lequel serait en quelque sorte susceptible de générer des nouveautés conceptuelles d'un ordre différent. L'histoire serait tournée vers le passé, la science serait tournée vers le futur :

"L'histoire, je ne la conçois pas comme une science au sens où, moi, je l'entends. [...] Les faits sont déjà là, le déroulement des faits est déjà établi pour l'histoire, alors que ce n'est pas le cas pour la science, au sens où je l'entends. [...] Quand on parle d'histoire, je vois comme une tentative d'analyser. On ne cherche pas à modifier, à changer les événements, on cherche à les comprendre. Tandis que dans la science, la science pure ou les autres sciences, on cherche à modifier quelque chose. La finalité n'est pas la même quant à l'histoire et la science." (S-4 : 22-23)

"J'ai bien peur que ce soit ma formation scientifique qui me fasse dire que [l'histoire] ce n'est pas une science. [...] Le scientifique va essayer de chercher des choses nouvelles, de comprendre le monde naturel, le monde qui l'entoure. Tandis que l'historien, lui, va regarder comment les humains ont, disons, la façon dont ils ont cherché, la façon dont les découvertes ont été utilisées, et va essayer de comprendre le processus qui a mené à telle et telle découverte. De ce point de vue, c'est un travail qui n'est pas moindre que le travail scientifique, loin de là, probablement beaucoup plus louable. Mais ce n'est pas de la science, c'est de l'histoire." (S-6 : 20)

"Je ne sais pas si l'on peut dire que l'histoire est une science. Tu ne peux pas, avec l'histoire, aller de l'avant comme tel. Pour moi, une science, c'est de l'étude et du développement. Mais l'histoire, c'est plus des connaissances. [...] L'historien ne peut pas aller faire de la recherche en laboratoire, mais il peut peut-être donner une idée à celui qui travaille là-dedans. [...] C'est une recherche, mais pas dans le sens de faire des découvertes en tant que telles." (S-8 : 16)

Un sujet (le sujet "marginal" évoqué précédemment) a présenté un point de vue impliquant une dialectisation de la théorie et de l'expérience. Cette dialectisation demeure cependant soumise à l'arbitrage des faits, ces derniers constituant une sorte de "tribunal de la nature". Ce sujet reconnaît d'emblée la constitution d'une problématique et la formulation d'hypothèses comme éléments constitutifs de la démarche de l'historien, mais invoque un

recours limité aux expériences de pensée pour souligner le caractère non expérimental (et par conséquent non scientifique) de l'histoire :

“L'essence de la science, c'est quoi finalement ? C'est ce qui peut être ramené aux faits. Lorsque tu élabores une idée que les faits peuvent arbitrer pour déterminer la véracité de ta théorie, et que tu acceptes de soumettre ta théorie aux faits, à ce moment-là, ok, c'est un critère de scientificité. [...] Par contre, si on revient à la question de l'histoire, on ne peut pas utiliser cette méthode-là en histoire. Il y a des historiens par exemple qui vont fonder l'histoire sur les individus et qui vont dire que si Hitler n'avait pas été là, il n'y aurait peut-être pas eu de Deuxième Guerre mondiale. Il y en a d'autres par contre qui vont plus croire à l'influence des collectivités et qui vont dire que si Hitler n'avait pas été là, il y aurait eu son second chef qui aurait pris sa place et les résultats auraient été les mêmes à quelques différences près. Alors là, le problème est que tu ne peux pas expérimenter sur les faits pour vérifier si l'hypothèse est juste. Tu ne peux pas reprendre l'histoire et regarder ce qui se passe.” (S-7 : 8-9)

2.4. Les faits

Un point de vue généralement partagé par les apprentis-enseignants au moment des premiers entretiens est que l'historien part des faits. Les textes - et de façon générale toutes les traces matérielles laissées par les humains - sont présumés correspondre au vécu qui les a produits. Les notions de fait, de document et d'événement sont utilisées, dans ce contexte, de façon interchangeable et ont en commun un caractère préconstruit ou donné. Qu'ils se prononcent pour ou contre le caractère scientifique de l'histoire, les faits demeurent ainsi associés aux événements concrets du passé, événements dont le caractère révolu les fait considérer comme du “déjà-là”. On ne semble pas envisager que, de même qu'un individu ne peut conserver la mémoire de tous ses actes ou paroles, l'historien n'est en mesure de construire tous les faits possibles à partir des documents existants. Les faits bruts du passé et les faits historiques demeurent donc indifférenciés. Ils sont envisagés comme des points de départ (plutôt qu'un aboutissement) et, qui plus est, comme des points fixes qui préexistent à leur mise au jour. Les faits apparaissent en somme – pour reprendre le mot ironique de Marrou (1967) – comme des “atomes de réalité historique” qu'il s'agit, d'un point de vue méthodologique, d'extraire des documents, d'ordonner chronologiquement et de relier :

“L'histoire, tu pars d'une date, puis tu remontes les faits, l'évolution des faits. [...] Ils [les historiens] vont dans les archives, ils compilent des faits sur la vie d'une personne. Puis, à un moment donné, à partir de ces faits-là, ils essaient de faire une synthèse de deux ou trois choses, de documents qui parlent du même sujet. Ils font une synthèse et si tous les documents concordent, ils prennent le tout pour vrai.” (S-1 : 18-20)

“Les recherches [historiques], tu vas dans le passé. Tu fais un historique des recherches dans le passé, qui a découvert quoi, etc. Puis tu fais des relations d'un bonhomme à l'autre.” (S-8 : 9)

Le travail de l'historien des sciences consiste dans ce contexte, outre à établir la chronologie et la succession temporelle des faits, à attribuer les découvertes scientifiques à leurs auteurs et à utiliser la position privilégiée que semble permettre une plus grande distance temporelle pour interpréter les “cheminements” et les “obstinations” des scientifiques du passé :

“D'après moi, un historien des sciences est quelqu'un qui regarde un genre d'échelle du temps et se dit qu'en 1672 il est arrivé telle chose, qu'en 1685 un tel a amélioré telle autre chose. C'est un peu l'idée que j'ai de l'historien. Il recule comme ça et essaie de voir vers quelle année s'est faite chaque découverte. Il essaie aussi de comprendre les cheminements et les discussions entre les différents scientifiques.” (S-11 : 7)

Cette description du travail de l'historien des sciences n'est pas sans rappeler une historiographie événementielle dans laquelle le discours, ne visant pas à répondre à une question adressée au passé, se caractérise par un récit composé d'une succession de faits liés par des chaînes causales linéaires. Une conception empirico-réaliste de la connaissance et de sa production peut par ailleurs être inférée des propos du sujet précité : l'observation y apparaît en effet comme la pierre angulaire de la démarche de l'historien, cette dernière étant elle-même assimilée à une opération de découverte du réel (l'historien des sciences “regarde un genre d'échelle du temps”, il “essaie de voir vers quelle année s'est faite chaque découverte”). A cette conception empiriste de l'activité de l'historien s'ajoute une conception empiriste de la production des connaissances scientifiques, comme en témoigne cet extrait dans lequel le même sujet précise ce que représente pour lui une anecdote en histoire des sciences :

“Une anecdote [en histoire des sciences], c'est quand tu fais de la recherche et que tout ne se passe pas comme ça devrait. Il y a toujours des accidents, quelque chose que tu trouves bizarre. [...] Mettons une expérience avec l'hélium-4. On refroidit un liquide, il y a une petite éprouvette avec de l'eau à moitié. En refroidissant l'éprouvette, on se rend compte que ça déborde, que ça coule dans le fond mais qu'il n'y a pas de trou, que ça grimpe sur les parois, etc. On comprend plus ou moins le phénomène. Pour moi, une anecdote, c'est ça. Ce qu'ils [les scientifiques] cherchaient, ce n'était pas la super-fluidité. Ils faisaient une recherche sur autre chose et ils ont observé ce phénomène-là qu'ils ont essayé de comprendre par la suite. Une anecdote, c'est un peu ça. [...] Tu ne pars pas d'une théorie de but en blanc, en ligne droite, sans problèmes. Ce sont des humains qui se posent des questions et qui ont des limites. Et à travers ça, il y a un peu de chance et

de hasard. Tu finis par trouver ta théorie, mais avec toutes sortes d'anecdotes à côté.” (S-11 : 30-32)

Tout comme les autres apprentis-enseignants, ce sujet envisage l'anecdote, sur le plan pédagogique, comme quelque chose d'imagé, de pittoresque et d'inattendu qui aide à se souvenir d'un concept scientifique particulier (Archimède et sa couronne d'or, Newton et sa pomme, Franklin et son cerf-volant, etc.). Mais le fait que le caractère fortuit de l'anecdote soit lié à l'observation témoigne de l'importance accordée à cette dernière. Peu importe le cadre théorique, à la limite (pourrait-on ajouter) : s'il y a quelque chose à observer, on le verra bien ! (*“Ils faisaient une recherche sur autre chose et ils ont observé ce phénomène-là qu'ils ont essayé de comprendre par la suite.”*). Le raisonnement et la réflexion sont certes considérés comme importants (*“ce sont des humains qui se posent des questions”*). Mais dans la mesure où la théorie n'apparaît qu'au terme de la recherche (*“tu ne pars pas d'une théorie de but en blanc”... “tu finis par trouver ta théorie”*), son élaboration semble résulter d'une application algorithmique de la démarche expérimentale et être déterminée univoquement par le contenu de l'observation. Les propos précités ont été énoncés dans le contexte de la physique, domaine de formation du sujet S-11. Ceux-ci ne sont cependant pas sans rapport (comme en témoignent plusieurs de ses extraits de discours) avec sa conception d'autres domaines de savoir, tel l'histoire. Cela se conçoit aisément puisque, selon le modèle empiriste naïf, l'observation constitue le fondement ultime de toute connaissance. Si l'on ajoute à cela le postulat d'une expérience unique de perception pour tous les observateurs de tous les temps, il n'est guère surprenant que le savoir scientifique soit envisagé par le sujet S-11 comme étant essentiellement intemporel, et que la dimension historique soit dès lors considérée comme une forme d'agrément ou de mise en contexte (au sens restreint du terme) :

“Le côté humain de l'expérience n'est pas nécessaire pour la compréhension du phénomène. Tu peux comprendre la supra-conductivité ou la supra-fluidité sans savoir que le gars faisait telle expérience et observait ceci ou cela. Ce qui entoure le phénomène n'a rien à voir avec la compréhension du phénomène lui-même. Tu peux comprendre sans savoir ça. Tu peux comprendre la théorie de Newton sans savoir comment il a fait pour la mettre au point, la développer. [...] Si je me base sur les cours de sciences que j'ai suivis, tu peux comprendre le contenu sans avoir besoin du contexte. Tu peux comprendre la théorie, même si tu ne sais pas comment ça s'est passé. Le contexte agrmente, disons, le contenu. Ça peut être intéressant de savoir dans quelles conditions ça s'est développé, à quoi avait affaire Kepler ou Galilée. C'est intéressant de savoir dans quel contexte il a dit ça, de savoir qu'il a été emprisonné et tout ça. C'est intéressant sauf que...” (S-11 : 32-33)

3. DISCUSSION

Notre interprétation des propos tenus lors des entretiens nous amène à considérer que la majorité des apprentis-enseignants n'ont pas problématisé l'histoire en tant que domaine de savoir ayant son objet et ses méthodes propres. Ainsi, l'histoire est souvent réduite à sa dimension chronologique et à sa dimension livresque. Du point de vue méthodologique, elle n'apparaît aucunement problématique. Le tableau d'ensemble est donné, il s'agit de préciser le voisinage de chacun de ses éléments (*"un historien des sciences est quelqu'un qui regarde un genre d'échelle du temps et se dit qu'en 1672 il est arrivé telle chose, qu'en 1685 tel autre a amélioré telle chose"*). On souligne parfois que les sources documentaires sont sujettes à interprétation, mais pour ajouter aussitôt qu'il y a des faits bruts, incontournables. Le fait historique ne semble pas avoir, sous ce rapport, un statut différent de celui attribué au fait scientifique, tel que ce dernier a pu être inféré au cours d'une étude précédente (Désautels et al., 1993). Qu'ils se situent en effet dans le champ de l'histoire ou dans le champ de sciences telles la physique et la chimie, les faits préexistent à leur mise au jour, sont essentiellement donnés par l'observation et demeurent identiques à eux-mêmes indépendamment du cadre théorique dans lequel ils s'inscrivent. En témoignent, entre autres, les extraits déjà cités suivants : *"les faits sont déjà là, le déroulement des faits est déjà établi pour l'histoire"* (S-4) ; *"l'histoire [...] tu remontes les faits, l'évolution des faits"* (S-1) ; *"de vieux textes, ce sont des observations de choses qui se passaient dans ce temps-là"* (S-9).

Il en va de même (en termes de non-problématisation) en ce qui concerne l'histoire des sciences. La distinction n'est pas clairement établie entre les disciplines scientifiques (chimie, physique, etc.) et les disciplines qui prennent les sciences comme objet d'étude (histoire, philosophie, sociologie des sciences). L'importance présumée d'avoir une formation scientifique pour tenir un discours critique sur les sciences agit vraisemblablement comme facteur d'indifférenciation entre les pratiques scientifiques et les discours sur les sciences. De l'avis de plusieurs apprentis-enseignants, les scientifiques auraient ainsi, du fait qu'ils se livrent à des activités "scientifiques", un avantage *a priori* pour parler du sens et de la portée de ce qu'ils font. De l'idée que la maîtrise conceptuelle d'un certain nombre de notions scientifiques est utile, voire nécessaire, pour comprendre et apprécier l'histoire des sciences, on en arrive alors à assimiler le savoir scientifique et le savoir sur les sciences. Ce second savoir n'est pourtant aucunement donné avec le premier. Comme le fait remarquer Harry Collins (1987), de même qu'un individu peut être un locuteur efficace sans avoir une connaissance explicite des règles grammaticales qu'il utilise, un scientifique professionnel peut n'avoir qu'une compréhension limitée de la nature de l'entreprise scientifique et des moyens par lesquels le savoir scientifique est produit et validé.

On retrouve ici ce que Jenkins (1992) considère comme un obstacle potentiel sérieux à l'introduction d'un discours critique sur les sciences dans les cours de sciences : le fait que les historiens, les philosophes et les sociologues n'ont pas, à la différence des scientifiques et des enseignants de sciences, de raisons particulières d'être partisans des sciences qu'ils étudient. Un autre élément qui nous incite à penser que l'histoire des sciences n'a pas été problématisée par les apprentis-enseignants est le fait que plusieurs thématiques centrales en ce domaine (le caractère continu ou discontinu du développement du savoir scientifique, les grandes controverses, l'importance relative des facteurs intellectuels et sociaux, le caractère local ou universel de la démarche qualifiée de scientifique, etc.) n'ont pas été abordées ou développées en entretien, alors que plusieurs des questions posées pouvaient y conduire.

Ce qui vient d'être dit n'équivaut nullement à invoquer un manque d'intérêt intrinsèque pour l'histoire et l'histoire des sciences. Cela témoigne plutôt de l'absence d'un cadre formel de sollicitation à l'intérieur duquel les apprentis-enseignants auraient été amenés à exprimer et confronter leurs points de vue sur ces questions. Leur comportement en entretien appuie nettement ce dernier point. Loin d'être rébarbatifs à un tel exercice, la plupart y ont en effet pris un réel plaisir. Dans plusieurs cas, l'entretien s'est prolongé d'une durée équivalente à celle du discours enregistré (cassettes audio de soixante minutes). De plus, lors de rencontres subséquentes, plusieurs sujets nous ont mentionné que leur idée de science se trouvait de nouveau "en chantier", faisant notamment allusion à la question relative à la scientificité ou à la non-scientificité de l'histoire. De ce point de vue, on peut soutenir que les entretiens ont constitué une forme d'intervention pédagogique. C'est d'ailleurs en nous appuyant sur ces derniers que nous avons conçu et réalisé ultérieurement avec eux des activités pédagogiques axées sur la problématique de l'histoire des sciences et de son utilisation en classe de sciences (Gagné, 1993).

Nous concluons en formulant quelques remarques relatives à l'utilisation de l'histoire des sciences dans la formation des enseignants. Il nous semble d'abord que la formation à l'enseignement des sciences doit faire une plus large part à l'histoire que celle qui lui est dévolue dans la formation professionnelle des scientifiques. Cela parce que l'acte même d'enseigner soulève davantage de questions de nature historique (posées ou non par les élèves) que l'activité de recherche. On doit pourtant reconnaître, en tout état de cause, que l'histoire des sciences est présente sur la scène universitaire (à l'intérieur de divers départements : histoire, philosophie ou disciplines scientifiques spécifiques). Elle n'y est cependant pas présentée dans une optique "pédagogique", c'est-à-dire avec la visée d'être ultérieurement utilisée à des fins d'enseignement. Certains départements de sciences offrent des cours sur l'histoire de leur discipline, mais ces cours se confondent le plus souvent avec l'enseignement des contenus disciplinaires. L'histoire n'y est pas prise comme

objet de réflexion et y est encore moins envisagée dans une perspective pédagogique. Des cours davantage axés sur la dimension historico-critique et faisant une large part aux courants historiographiques dans lesquels s'inscrivent les travaux étudiés pourraient pallier en partie à cette situation. Par la lecture et la discussion de travaux historiques s'inscrivant dans différentes perspectives, il serait alors possible de montrer aux futurs enseignants comment la conception de la science de celui ou de celle qui fait œuvre d'historien(ne) intervient dans ce qui constitue pour lui (elle) l'histoire de cette science. Ce qui les aiderait en retour à réfléchir sur leur propre idée de science et sur les représentations véhiculées par les outils pédagogiques utilisés en enseignement des sciences. D'autres activités susceptibles d'être transposées dans une pratique ultérieure d'enseignement (exposés, recherche et analyse documentaire, débat, jeu de rôle) pourraient également être réalisées. Le but de l'introduction de l'histoire des sciences dans la formation à l'enseignement des sciences ne serait alors pas tant de l'enseigner comme savoir encyclopédique ou académique, que de réfléchir sur son rôle et son utilisation dans l'enseignement des sciences.

BIBLIOGRAPHIE

ABELL S.K. & SMITH D.C. (1992). What is science ? Preservice elementary teachers' conceptions of the nature of science. In S. Hills (Ed.), *The history and philosophy of science in science education*. Kingston, Ontario, Queen's University, pp. 11-22.

AGUIRRE J.M., HAGGERTY S.M. & LINDER C.J. (1990). Student-teachers' conceptions of science, teaching and learning : a case study in preservice science education. *International Journal of Science Education*, vol. 12, n° 4, pp. 381-390.

ASSELIN C. (1988). *Les tendances historiographiques de la conception de l'histoire des sciences véhiculée par le discours des enseignants du secondaire et du collégial*. Mémoire de maîtrise non publié, Québec, Université Laval.

BRICKHOUSE N.W. (1989). The teaching of the philosophy of the science in secondary classrooms : case studies of teachers' personal theories. *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 4, pp. 437-449.

BURIAN R.M. (1977). More than a marriage of convenience : on the inextricability of history and philosophy of science. *Philosophy of Science*, vol. 44, pp. 1-42.

COLLINS H. (1987). Certainty and the public understanding of science : science on television. *Social Studies of Science*, vol. 17, pp. 689-713.

DÉSAUTELS J., LAROCHELLE M., GAGNÉ B. & RUEL F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique. *Didaskalia*, n° 1, pp. 49-67.

EVANS R.W. (1989). Teacher conceptions of history. *Theory and Research in Social Education*, vol. 17, n° 3, pp. 210-240.

EVANS R.W. (1990). Teacher conceptions of history revisited : ideology, curriculum and student belief. *Theory and Research in Social Education*, vol. 18, n° 2, pp. 101-138.

GAGNÉ B. (1991). *L'histoire des sciences dans l'enseignement des sciences : recourir à l'histoire, oui... mais quelle histoire ?* Séminaire sur la Représentation n° 60. Montréal, Université du Québec à Montréal, CIRADE.

GAGNÉ B. (1993). *L'histoire des sciences dans la formation à l'enseignement des sciences*. Séminaire sur la Représentation n° 79. Montréal, Université du Québec à Montréal, CIRADE.

GALLAGHER J.J. (1991). Prospective and practising secondary school science teachers' knowledge and beliefs about the philosophy of science. *Science Education*, vol. 75, n° 1, pp. 121-133.

GIERE R.N. (1973). History and philosophy of science : intimate relationship or marriage of convenience. *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 24, pp. 282-297.

GLASER B.G. & STRAUSS A.L. (1967). *The discovery of grounded theory : strategies for qualitative research*. New-York, Aldine.

JENKINS E.W. (1990). The history of science in British schools : retrospect and prospect. *International Journal of Science Education*, vol. 12, n° 3, pp. 274-281.

JENKINS E.W. (1992). HPS and school science education : remediation or reconstruction. In S. Hills (Ed.), *The history and philosophy of science in science education*. Kingston, Ontario, Queen's University, pp. 559-569.

JODELET D. (1989). *Les représentations sociales*. Paris, PUF.

KUHN T.S. (1977). *The essential tension*. Chicago, Chicago University Press.

KOULAUDIS V. & OGBORN J. (1989). Philosophy of science : an empirical study of teachers' views. *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 2, pp. 173-184.

MARROU H.-I. (1967). Comment comprendre le métier d'historien. In C. Samaran (Dir.), *L'histoire et ses méthodes*. Paris, Gallimard, pp. 1465-1539.

STENGERS I. (1986). L'histoire des sciences et comment s'en servir. In *Sens et place des connaissances dans la société*. Paris, Éditions du CNRS, pp. 117-146.



Figurabilité dans le domaine de la circulation sanguine

André LAVARDE

IUFM de Picardie
3, rue Bossuet
60000 Beauvais

Résumé

La communication scientifique fait souvent appel à des représentations imagées désignées sous le nom de schémas. Paradoxalement, l'étude des productions d'élèves montre que ceux-ci les emploient très peu de façon spontanée lorsqu'une tâche de restitution des connaissances leur est proposée. Pour en comprendre les raisons, il paraissait intéressant d'interpréter le problème par le biais de l'épistémologie, en considérant la façon dont les schémas sont apparus dans l'histoire. Peu de recherches ont tenté de mettre en rapport l'état de la science sur un sujet et les supports imagés ou iconiques. L'étude qui suit montre comment les connaissances dans le domaine de la circulation sanguine et leur codification sous forme de schémas ont évolué au cours de l'histoire.

Mots clés : *épistémologie, histoire des sciences, circulation sanguine, illustration, schéma.*

Abstract

Science communications use illustrations, especially diagrams. Nevertheless, study of pupils' productions shows that those pupils never draw any illustrations in situations of recall. An epistemological approach appears to be a better way of giving information about this problem. It would be interesting

to study the production of images throughout history. The method consists in comparing the scientific discoveries and the illustrations about a same subject. This method is unusual in this sort of research. The purpose of this study is to specify the relations between the chronological evolution of the knowledge and illustrations about blood circulation.

Key words : *epistemology, science history, blood circulation, illustration, diagram.*

Les recherches qui portent sur la schématisation s'orientent dans trois directions. Les premières se situent à l'interface entre l'élève et le schéma ; elles commencent avec Dwyer (1967) qui montre la relation entre type de schéma et variation dans l'accomplissement d'une tâche donnée. Elles se poursuivent avec les recherches sur l'optimisation des codes pour une meilleure intelligibilité de l'image (Bertin, 1970 ; Richaudeau, 1979 ; Rankin, 1989). Un second courant tente de préciser la place du schéma parmi les représentations imagées (Moles, 1981 ; Vézin, 1986, 1989).

Un troisième axe correspond au problème que suscite soit leur compréhension (Giordan, 1984 ; Rabardel, 1984), soit la mise en rapport des connaissances et leur présentation sous forme de schéma, c'est-à-dire leur figurabilité (Fresnault-Deruell, 1984 ; Jacobi, 1984). Ce dernier auteur a effectué des recherches sur la relation entre le dessin et la notion représentée lorsque celle-ci est abstraite ou non perceptible. La circulation sanguine met en jeu des mécanismes non visibles ; la transmission des connaissances dans ce domaine fait appel à des schémas. Des problèmes de figurabilité apparaissent obligatoirement.

Plusieurs auteurs ont étudié le rôle des schémas dans la circulation. Ces derniers ont été classés en plusieurs catégories correspondant à leur fonction (Léoutre, 1979 ; Ducros, 1989). On sait d'autre part que le code de couleur employé dans la matérialisation des vaisseaux est source d'erreur (Lavarde, 1985 ; Roncin, 1987 ; Bornancin, 1987). D'autre part, il convient de souligner l'uniformité des schémas dans ce domaine (Lavarde, 1985). Une telle constance des modes de figuration devait avoir deux explications possibles. Il pouvait s'agir d'une représentation arrivée à un tel point de pertinence qu'il n'était pas possible d'en inventer une plus parfaite. Cette constance pouvait traduire également une absence de réflexion sur le sujet ; le schéma, une fois inventé, pouvait être reproduit sans que personne ne vienne mettre en cause sa pertinence.

Notre première étude (Lavarde, 1985) avait permis de montrer que, loin d'être une production réfléchie et fonctionnelle, le schéma de la circulation devait une large part de sa construction à des considérations contingentes (problème d'imprimerie, croyances, etc.). Mais ces études restaient incomplètes. Nous avons donc poursuivi cette recherche pour savoir quels étaient les stades précis qui avaient jalonné son évolution. Comme souvent dans l'histoire

des sciences, les transformations qui ont affecté le schéma de la circulation ne sont pas progressives. Elles s'accompagnent de phénomènes de rupture, liés à l'état d'avancement de la science. Nous voulons montrer qu'un décalage important existe entre une découverte et le moment où une représentation imagée vient la formaliser.

LES ORIGINES DES SCHÉMAS CIRCULATOIRES

Il n'existe, à notre connaissance, aucune illustration datant de la période grecque. Les seuls témoignages de cette époque correspondent à des copies dans des manuscrits arabes ou persans. Cependant, la technique de copie des manuscrits a permis de suivre l'état de la connaissance à cette époque.

Deux modèles explicatifs coexistent alors : la "théorie" des humeurs et l'existence supposée des pneuma. Dans le premier modèle, le corps et les astres sont régis par une sorte de cosmogonie universelle reliant les éléments (l'air, l'eau, le feu et la terre), les quatre horizons et les humeurs présentes dans le corps (phlegme, pituite, bile et sang). Ce modèle des humeurs donne lieu à diverses représentations imagées et symboliques (figure 1). Les éléments sont en relation les uns avec les autres (y compris les âges de la vie : printemps = enfance, été = adolescence, etc.).

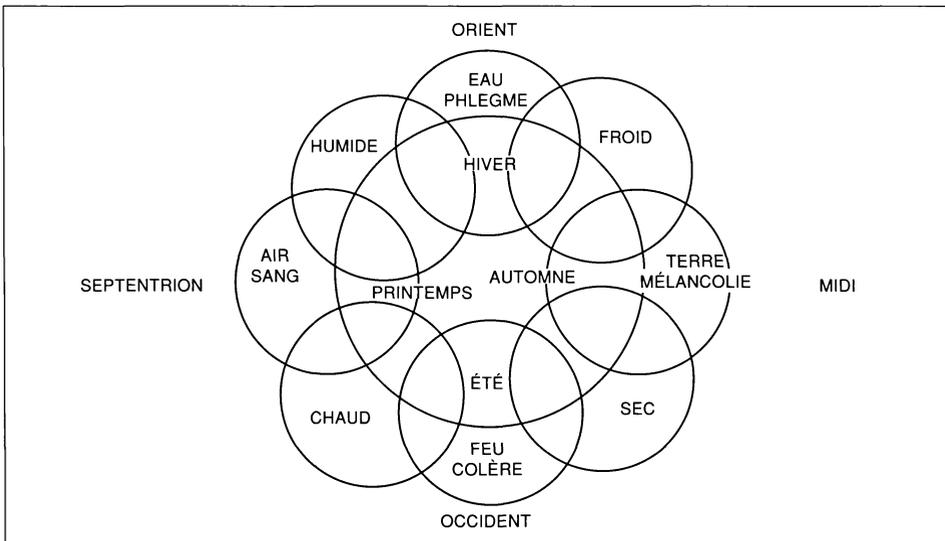


Figure 1 : Fac-similé de la cosmologie des humeurs.

Les quatre éléments, les horizons, les humeurs et les propriétés de la matière forment un ensemble géométrique qui mime le monde planétaire – tracé à partir du manuscrit 62, f 37 v° (XV p. 19).

Ces éléments appartenant à des domaines différents (âge, matière...) s'associent en une cosmologie s'appuyant sur le cercle, connu dès cette époque comme la figure décrite par les astres. Cette figuration de type organigramme se suffit à elle-même en raison de son aspect symbolique.

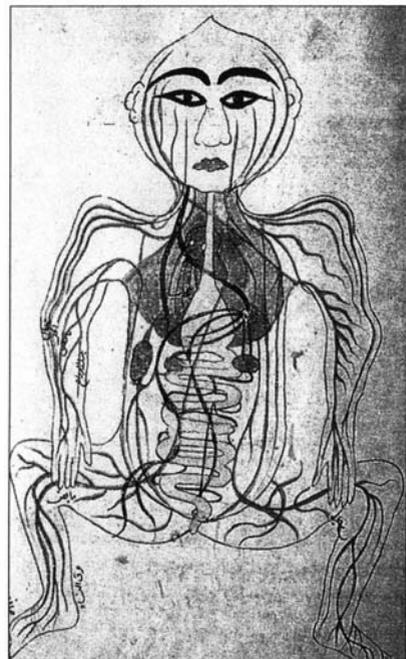
Indépendamment des humeurs, une véritable étude anatomique débute avec Praxagoras de Cos (340-320 av. J.C.) qui différencie veine et artère (Beaujeu, 1966). Cette différenciation en deux catégories d'organes qui possèdent la même fonction, transporter le sang, est à l'origine d'erreurs et d'imprécisions. Ces dernières se traduisent d'abord, historiquement, dans le vocabulaire. La confusion se crée entre l'aspect du vaisseau et le compartiment vasculaire auquel il se trouve rattaché. Le système des "pneuma" de Galien, médecin grec du II^e siècle, s'appuie davantage sur l'observation de la respiration. Comme toute dissection est interdite, les représentations imagées du Moyen Age sont recopiées de manuscrit en manuscrit, sans support scientifique possible. Cependant, les éléments à figurer étant en petit nombre (pneuma, sang), le schéma descriptif devient possible, en y associant les structures anatomiques correspondantes. Les vaisseaux et le sang sont indifférenciés, représentés par un seul trait, ce qui traduit l'amalgame entre le sang circulant et la vaisseau qui le contient.

Dans les dessins de l'époque (figure 2), les circuits artériel et veineux sont non seulement indépendants, mais codés de façon différente. Les artères sont colorées en bleu dans le manuscrit original (couleur en rapport avec l'air) ; les veines sont colorées en rouge puisqu'elles sont connues comme renfermant du sang.

En fait, le problème est plus complexe car le pneuma est un élément qui n'est pas vraiment matériel, à la fois gaz et esprit. Rappelons que Diderot définit la pneumatologie comme l'étude des pensées (et non l'étude des poumons), et qu'inspirer veut dire aussi bien donner de l'esprit que faire entrer l'air dans l'appareil respiratoire.

Figure 2 : Représentation anatomique de tradition persane.

Le foie (à gauche) est le centre de production du sang. Le cœur, en relation avec les poumons, est le centre de production du pneuma vital. Le tracé des vaisseaux dérive vraisemblablement de manuscrits grecs perdus depuis. Les codes de couleur sont inversés par rapport à l'emploi actuel (adapté de CARO M. et al. (1989). *Biologie 3^e*. Paris, Magnard, p. 126).



Les dissections étant tolérées, les dessins véritablement anatomiques apparaissent au XVI^e siècle ; ils s'appuient sur de réelles observations. Cependant, ils respectent encore les préceptes de Galien. C'est ainsi que Vésale dessine séparément réseau veineux et réseau artériel. Trois organes sont représentés en rapport avec la circulation : le foie (source du sang / pneuma naturel), le cerveau (source de l'esprit / pneuma animal) et le cœur (source de chaleur / pneuma vital).

Léonard de Vinci associe en un seul ensemble les veines caves et l'artère pulmonaire, ce qui ne correspond pas à la réalité, mais qui s'explique par le fait que les oreillettes n'étaient pas considérées comme faisant partie du cœur. Il figure également les pores interventriculaires, inventés par Galien pour expliquer la présence de sang dans les artères (figure 3).

Ceci prouve bien qu'à cette époque les auteurs dessinent davantage ce qu'ils s'attendent à trouver plutôt que ce qu'ils observent vraiment.

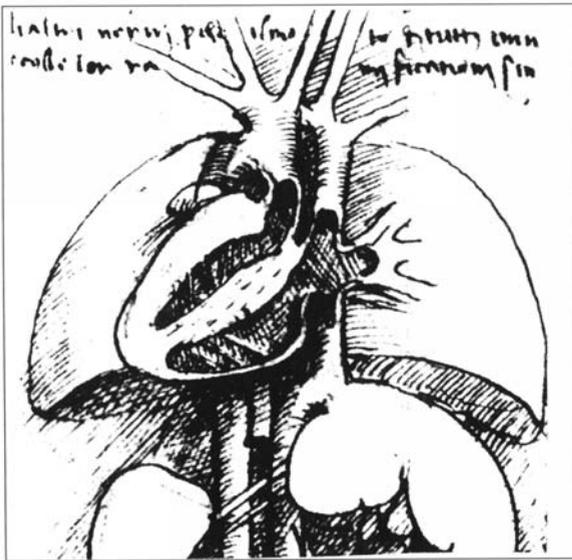


Figure 3 : Dessin anatomique de Léonard de Vinci. Les structures représentées illustrent bien les théories de l'époque : pores à l'intérieur de la cloison interventriculaire ; foie, centre de la circulation sanguine, avec comme corollaire, la liaison directe entre les veines caves et l'artère pulmonaire (extrait de MATHÉ J. (1978). *Léonard de Vinci, dessins anatomiques*. Fribourg, Liber SA, p. 72).

Harvey découvre le mécanisme de la circulation sanguine ; cependant il désigne encore l'artère pulmonaire sous le nom de veine artérielle et les veines pulmonaires sous le nom d'artères veineuses. Les dessins qui accompagnent le texte de son livre *De motu cordis* viennent seulement en illustration des expériences prouvant le sens du mouvement du sang dans les vaisseaux sanguins (Harvey, 1628). Les autres figures qu'il a laissées correspondent simplement à des planches anatomiques. Aucun dessin ne vient matérialiser le circuit sanguin à l'intérieur du corps.

L'absence de schématisation est à mettre en parallèle avec le fait que le rôle de la circulation n'est pas encore établi. Les connaissances de l'époque

prennent toujours en compte les théories galéniques sur le pneuma vital et la théorie des humeurs.

La notion de chaleur interne, déjà connue par Galien, vient modifier les principes anciens en y associant le système des pneuma : *“Pour ce qui est des parties du sang qui pénètrent jusqu’au cerveau, elles n’y servent pas seulement à nourrir et entretenir sa substance, mais principalement aussi à y produire un certain vent très subtil, ou plutôt une flamme très vive et très pure, qu’on nomme les esprits animaux.”* (Descartes, 1637).

La chaleur interne reste encore un modèle explicatif pour Claude Bernard qui en rédige même un traité (Bernard, 1876). Ce principe, qui restera encore en vigueur au début du XX^e siècle (Perrier, 1918), consiste à mettre en rapport les mécanismes vitaux avec la production de chaleur.

Cette importance accordée à la production de chaleur explique toutes les mesures calorimétriques qui ont été effectuées dès 1780 par Seguin et Lavoisier (Giordan, 1987). Elle explique également que la valeur énergétique des aliments ait été longtemps exprimée en calories.

Le raisonnement en terme de chaleur interne apporte un élément nouveau par rapport au principe de pneuma vital de Galien : elle permet de mieux comprendre la structure des poumons. En effet, les poumons jouant le rôle de radiateur, ils acquièrent une fonction concrète plus satisfaisante pour l’esprit. Bien que partiellement inexacte, l’interprétation de la respiration comme échange calorique permet d’expliquer la différence entre veine et artère et conduit à abandonner le système des humeurs. Des rôles différents vont être attribués aux sangs artériel et veineux.

La couleur rouge clair du sang artériel conduit à amplifier son rôle par rapport au sang veineux : il sera considéré comme vivifiant. Le sang veineux, plus sombre (donc supposé plus froid), sera considéré plus tard comme toxique (Bichat, 1802) jusqu’au début du XX^e siècle (Brémant, 1924). Cette différence de couleur s’accorde bien avec l’image que l’on se fait d’un corps changeant de température. Le fer en refroidissant passe lui aussi du rouge clair au rouge sombre. Cette image, ainsi que la découverte d’une nouvelle méthode d’étude des vaisseaux sanguins, va favoriser la représentation du sang sous forme de schémas.

C’est effectivement à cette époque que Ruysch (Binet, 1988) applique la technique des injections de substances colorées dans les vaisseaux sanguins. Ces injections sont à l’origine des codes rouge et bleu employés dans les schémas circulatoires actuels. Cette couleur bleue convient d’autant mieux qu’elle est qualifiée de couleur froide.

D’autre part, les veines apparaissent bleues par phénomène de contraste simultané avec la couleur jaunâtre de la peau. Ainsi, une simple particularité perceptive se trouve à l’origine d’un code de couleur qui ne sera plus modifié par la suite. Le code couleur répond bien à la figurabilité de la température du sang.

A notre connaissance, le premier schéma de la circulation est celui de Claude Bernard, paru dans la *Revue des Deux Mondes*, le 1^{er} mars 1865. Cette première représentation du schéma circulatoire est reprise dans la Grande Encyclopédie de 1890 (figure 4). Il est bien question de schéma de la circulation et non de dessin de l'appareil circulatoire, puisque les parois du "contenant" (cœur et vaisseaux sanguins) disparaissent.

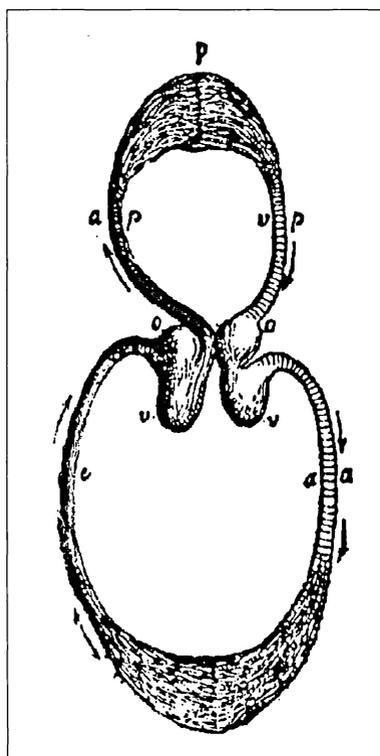


Figure 4 : Schéma de Claude Bernard.

Pour la première fois, le circuit sanguin est représenté sous forme d'une double boucle. Le figuré dans les artères permet de les rendre plus claires par rapport aux veines, respectant ainsi la variation de la couleur du sang. Il y a correspondance entre l'apparition de ce schéma et la découverte du transport des gaz respiratoires par le sang (extrait de HAHN L. (1890). *La grande encyclopédie, inventaire raisonné des sciences, des lettres et des arts*. Paris, Société de la Grande Encyclopédie).

Le principe de la chaleur interne a certainement influencé Claude Bernard puisque celui-ci, comme cela a été dit plus haut, lui a consacré un traité. Néanmoins, cela n'apparaît pas clairement dans la schématisation. Nous pouvons seulement constater le parallélisme entre la découverte du rôle du sang dans la respiration et le changement dans la signification des codes employés dans les illustrations.

Les couleurs rouge et bleu voulaient indiquer un réseau particulier (sang artériel, sang veineux). A partir de cette époque, la différence de couleur du sang s'interprète comme une différence de composition chimique.

Le schéma circulatoire ne correspond plus au circuit du sang dans le corps ; il correspond à une fonction de distribution de l'oxygène dans l'organisme. Le circuit sanguin n'est pas figuré à l'intérieur d'une silhouette humaine

comme cela existe dans beaucoup de manuels scolaires actuels, car le schéma se veut général, applicable à n'importe quel mammifère. Paradoxalement, la cellule qui a contribué à énoncer la notion de milieu intérieur ne figure pas dans cette symbolisation.

Postérieurs à celui de Claude Bernard, les schémas de Mathias Duval (figure 5) prennent moins en compte la respiration. Ils mettent l'accent sur les aspects hémodynamiques en insistant sur la variation de diamètre des vaisseaux sanguins. Celui de Claude Bernard ne respectait pas ces aspects du circuit sanguin. La diminution du flux au niveau des capillaires n'apparaît pratiquement pas.

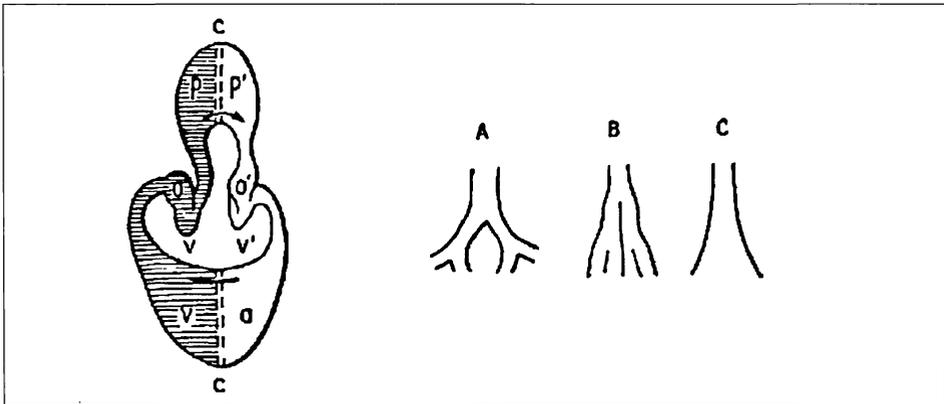


Figure 5 : Schéma de Mathias Duval.

Bien que contemporain de Claude Bernard, M. Duval propose postérieurement une autre représentation de la circulation. Elle vise à préciser les concepts "mécaniques" de la circulation qui ne sont pas encore unanimement admis (adapté de Chanton & Paniel, 1964).

Pour pallier cet inconvénient, Mathias Duval introduit la notion de cône vasculaire pour rendre compte de l'augmentation du diamètre total des vaisseaux au niveau des capillaires. Ce schéma s'inscrit dans le courant matérialiste de la physiologie qui consiste à réduire les phénomènes vitaux à des mécanismes physiques. Ce courant reprend vigueur avec le succès des méthodes physiques lors des études hémodynamiques développées par Marey et Poiseuille.

Le schéma de type Mathias Duval n'est pas repris dans les livres actuels. Il figure encore, cependant, dans celui de Chanton et Paniel (1964), au chapitre consacré à l'hémodynamique. De nos jours, dans les manuels et les ouvrages de vulgarisation, l'aspect respiratoire prime sur l'aspect mécanique et le schéma de Claude Bernard est seul conservé.

Cette vision purement respiratoire du schéma traditionnel n'a pas échappé à L. Chauvois (1934) qui a étudié l'histoire de la circulation sanguine. Cet auteur a tenté d'introduire un schéma qui fournisse une représentation

imagée plus complète de la circulation (figure 6). Elle permet de visualiser non seulement le transport des gaz respiratoires, mais aussi celui des nutriments et la formation de la lymphe, ainsi que l'augmentation du volume vasculaire au niveau des capillaires (schéma de M. Duval). D'autre part, au plan de la figurabilité, il apporte une solution au caractère progressif des échanges nutritionnels dans le sang en codant plusieurs éléments contenus dans le sang. La répartition en secteurs n'est pas immédiatement compréhensible. Elle s'explique par le fait que, dans la continuité des visions mécanistes (chaleur et combustion internes), l'auteur compare la circulation à un moteur à quatre temps (d'où les quatre secteurs).

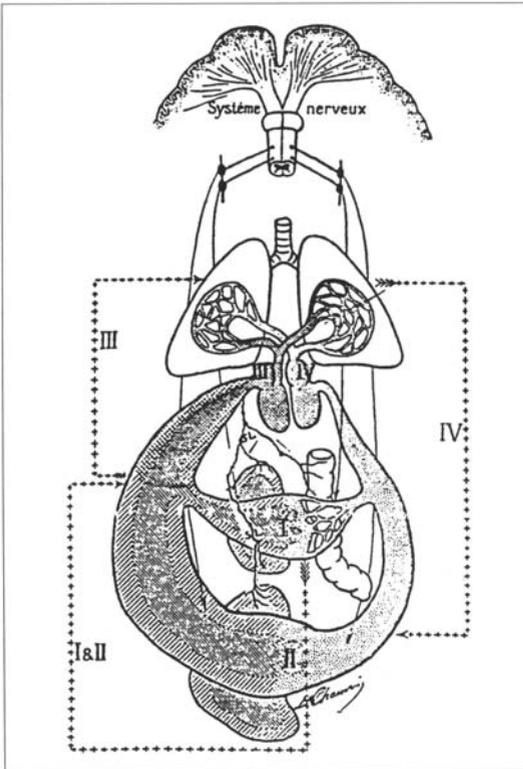


Figure 6 :
Schéma de Chauvois.

Il tente de compléter le schéma de Claude Bernard en faisant figurer les nutriments. La complexité des codes qui en résulte l'a fait abandonner par l'édition scientifique (extrait de Chauvois, 1934).

On remarquera également que ce schéma ne prend pas en compte la structure cellulaire. La circulation reste un mécanisme conçu au niveau des organes et non au niveau des cellules. Il ne matérialise toujours pas le concept de milieu intérieur. Ce type de schéma ne sera pas non plus retenu par la suite. Les codes de couleur continueront de désigner des différences de composition gazeuse.

Un dernier type de schéma (figure 7) est proposé par Gamble (1954). Il ne s'agit plus de la circulation au sens de circulation sanguine, mais de répartition des éléments organiques dans le corps, plus précisément au niveau cel-

lulaire. Le mouvement sanguin par lui-même n'a pas d'importance ; ce qui importe, c'est la distribution des éléments dans le compartiment cellulaire. Les éléments figurés du sang sont inclus dans ce compartiment. L'apparition du concept d'homéostasie fait perdre au schéma son aspect circulaire, pour ne conserver que l'aspect de la distribution des éléments, même si sa forme n'évoque pas le milieu intérieur. Les flèches traduisent l'équilibre entre les entrées et les sorties.

Actuellement, la tendance de l'enseignement consiste à souligner que le maintien de la vie s'explique par des transferts d'énergie. Le maintien de la constance du milieu intérieur ne s'appuie pas sur les schémas circulatoires. Cette nouvelle approche n'a pas encore de retombées directes sur la forme des schémas. Ceux qui illustrent les pages des manuels scolaires correspondent toujours au modèle de Claude Bernard, car celui-ci apparaît comme la forme la plus adaptée pour illustrer le nom même de circulation (figure 8).

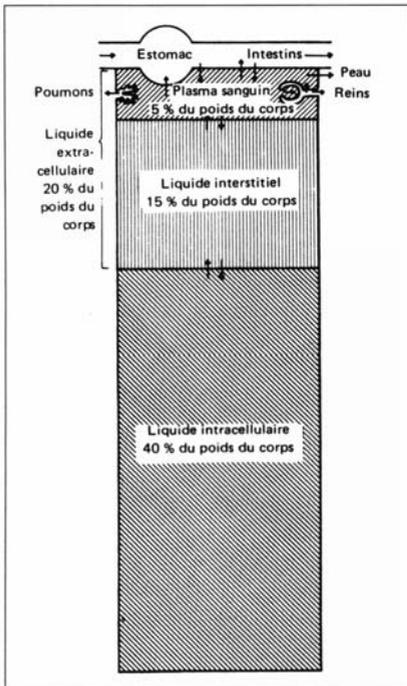


Figure 7 : Le schéma de Gamble rompt avec le schéma circulaire en y substituant la diffusion, le mouvement circulaire n'ayant comme fonction que de favoriser cette diffusion (cité par GANONG W.H. (1977). *Physiologie médicale*. Paris, Masson, p. 8).

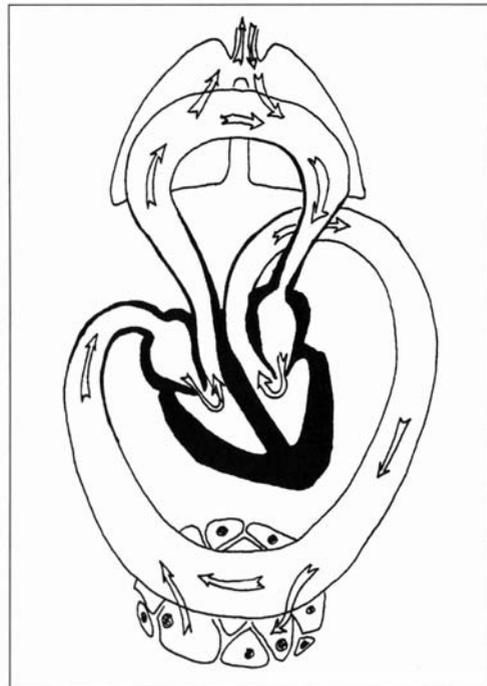


Figure 8 : Les schémas actuels contiennent de présenter une version circulaire du mouvement sanguin pour illustrer la notion de cycle. Les codes rouge et bleu qui matérialisent sang artériel et sang veineux contribuent à privilégier les propriétés du sang dans la respiration (d'après DEBRUNE M. et al. (1980). *Sciences naturelles*, 3^e. Paris, Belin).

ENSEIGNEMENTS TIRÉS DE L'ÉTUDE HISTORIQUE DES SCHÉMAS

L'étude historique des représentations imagées de la circulation sanguine apporte quelques éclaircissements à propos de la figurabilité, c'est-à-dire la possibilité de présenter sous forme iconique des objets abstraits ou non visibles.

Les premières représentations montrent que la traduction sous forme de dessin purement iconique n'est pas possible. La plupart des éléments qui doivent apparaître ne sont pas matériels (humeurs). Il s'ensuit une représentation de type organigramme où les éléments sont inscrits sous forme textuelle. L'image n'apporte pas vraiment d'information nouvelle ; elle ne facilite pas le mécanisme de reconnaissance rapide.

Une étape est franchie quand l'auteur peut mettre en rapport une substance et un vaisseau conducteur. Cet artifice permet de figurer un élément non matériel (pneuma) en désignant le contenu par le contenant. Un code vient en superposition par rapport à un support anatomique réputé perceptible (après dissection). Ce type de représentation, élaboré depuis le Moyen Age, subsiste encore dans les livres de sciences, mais il fige la conception de la circulation en tant que mécanisme respiratoire puisque les codes de couleur, obligatoirement en nombre restreint, ne matérialisent (de façon imparfaite) que la composition gazeuse du sang.

Le concept d'homéostasie, plus abstrait que le simple transport de gaz ou de nutriments, crée une nouvelle difficulté de figurabilité. Les auteurs se tournent vers des représentations également plus abstraites comme l'organigramme. Le dessin devient plus pauvre que la conception à illustrer.

Ces constatations sont à relier au rôle du schéma qui est double. Celui-ci doit fournir une vision rapide d'un phénomène et assurer une redondance par rapport au message textuel. La nécessité d'une lecture rapide explique que malgré un contenu sémantique souvent dense, le schéma présente un aspect dépouillé.

La redondance du message se heurte quant à elle à des difficultés de figurabilité puisque, pour que le dessin crée un nouveau sens (et non une simple reconnaissance), il faut que le lecteur "réinvente" ou découvre la relation entre le code et la notion exprimée.

Les exemples sur la circulation sanguine montrent que le décalage entre l'énoncé du phénomène et sa figuration peut être considérable, par le fait que les découvertes concernent généralement des abstractions. La figurabilité d'un mécanisme dépend de l'apparition et de l'acceptation de codes suffisamment explicites.

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUJEU J. (1966). La science hellénistique. In R. Taton, *Histoire générale des sciences*, tome 1. Paris, PUF, pp. 393-423.
- BERNARD C. (1876). *Leçons sur la chaleur animale*. Paris, Baillière.
- BERTIN J. (1970). La graphique. *Communication*, n° 15, pp. 169-185.
- BICHAT X. (1802 - éd. 1981). *Recherches physiologiques sur la vie et la mort*. Paris, Vrin.
- BINET J.-L. (1988). *Le sang et les hommes*. Paris, Gallimard-Cité des Sciences.
- BORNANCIN B. (1987). Quelques activités de modélisation à l'École élémentaire. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Modèles et modélisation. Actes des IX^{es} Journées internationales sur l'éducation scientifique*. Paris, Université Paris 7, UER de Didactique des disciplines, pp. 169-177.
- BRÉMANT A. (1914). *Sciences physiques et naturelles, cours supérieur*. Paris, Hatier.
- CHANTON R. & PANIEL J. (1964). *Anatomie et physiologie animales, fonctions de nutrition*. Paris, Doin.
- CHAUVOIS L. (1934). *Circulation du sang. Schéma nouveau*. Paris, Baillière.
- DESCARTES R. (1637 - éd. 1963). *Oeuvres et lettres*. Paris, La Pléiade.
- DIXON B. et al. (1986). *The human machine*. Oxford, Equinox Ltd.
- DUCROS B. (1989). *Le concept de circulation du sang : production d'outils didactiques*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.
- DWYER F.M. (1967). Adapting visual for effective learning. *Harvard Educational Review*, n° 37, pp. 250-265.
- FLOURENS P. (1854). *Histoire de la découverte de la circulation du sang*. Paris, Baillière.
- FRESNAULT-DERUELL P. (1984). Métaphores / métamorphoses / figurabilité. *Langages*, n° 75, pp. 55-64.
- GAMBLE (1954). *Chemical anatomy, physiology and pathology of extracellular fluid*. Harvard University Press.
- GIORDAN A. (1984). Compréhension de livres scientifiques de vulgarisation (texte et iconographie) par des élèves de 8 à 14 ans. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifiques. Actes des VI^e Journées internationales sur l'éducation scientifique*. Paris, Université Paris 7, UER de Didactique, pp. 661-670.
- GIORDAN A. et al (1987). *Histoire de la biologie*. Paris, Lavoisier.
- HARVEY W. (1628 - éd. 1962). *La circulation du sang*. Traduction de C. Richet. Paris, Masson.
- JACOBI D. (1984). Figures et figurabilité de la science. *Langages*, n° 75, pp. 23-42.
- JACOBI D. (1985). Références iconiques et modèles analogiques dans le discours de la vulgarisation scientifique. *Informations en sciences sociales*, n° 24, pp. 847-867.

JACOBI D. (1987). Des images pour apprendre les sciences. *Éducation permanente*, n° 90, pp. 39-55.

JACOBI D. (1987). *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Berne, Peter Lang.

JACOBI D. (1988). Les images et la vulgarisation scientifique. *Bulletin de Psychologie*, n° 386, pp. 559-570.

JACQUINOT G. (1988). Pas sage comme une image ou de l'utilisation des images en pédagogie. *Bulletin de Psychologie*, n° 386, pp. 603-609.

LARKIN J.H. & SIMON H.A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth than thousand words. *Cognitive Science*, n° 11, pp. 65-99.

LAVARDE A. (1985). *Sang rouge-sang bleu, 700 ans de représentations de l'appareil circulatoire*. Mémoire de DEA, Université Paris 7.

LAVARDE A. (1992). *Contribution à l'étude de la schématisation dans l'enseignement de la circulation sanguine*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

LÉOUTRE G. (1979). Les moyens d'expression graphique. In *Fiches documentaires*, n° 3. Paris, CNDP, pp. 13-21.

MOLES A. (1981). *L'image, communication fonctionnelle*. Tournai, Casterman.

PERRIER E. (1918). *La vie en action*. Paris, Flammarion.

RABARDEL R. (1984). Problème de lecture du dessin technique mécanique. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifiques. Actes des VI^{es} Journées internationales sur l'éducation scientifique*. Paris, Université Paris 7, UER de Didactique, pp. 117-127.

RANKIN R.D. (1989). The development of an illustration design model. *Educational and Teaching Review*, vol. 37, n° 2, pp. 25-46.

RICHAUDEAU F. (1979). *Conception et production des manuels scolaires*. Paris, UNESCO-Retz.

RONCIN M. (1987). Les idées fausses induites par le schéma actuel de la circulation du sang. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Modèles et modélisation. Actes des IX^{es} Journées internationales sur l'éducation scientifique*. Paris, Université Paris 7, UER de Didactique des disciplines, pp. 231-234.

VÉZIN J.-F. (1986). Schématisation et acquisition des connaissances. *Revue Française de Pédagogie*, n° 77, pp. 71-78.

VÉZIN J.-F. & VÉZIN L. (1988). Illustration, schématisation et activité interprétative. *Bulletin de Psychologie*, n° 386, pp. 655-666.

VÉZIN L. (1986). Les illustrations, leur rôle dans l'apprentissage des textes. *Enfance*, n° 1, pp. 109-126.

VÉZIN L. (1989). Sémiologie et fonction de l'illustration. *Bulletin de Psychologie*, n° 392, pp. 796-807.

VETTER T. (1965). *Un siècle d'histoire dans la circulation du sang*. Documenta Geigy.

POINT DE VUE d'un chercheur en didactique des sciences

La recherche-développement : une voie vers une "structure didactique" de la physique empiriquement fondée

P.L. LIJNSE

Centre for Science and Mathematics Education
Utrecht University, P.O.B. 80.008
3508 TA Utrecht, The Netherlands

(Traduit par la rédaction)

Résumé

Dans le domaine de l'éducation scientifique, un travail considérable de développement de programmes à grande échelle a été effectué au cours de ces dernières décennies, les perspectives allant d'une approche en termes de "structure de la discipline" à une approche "science, technique et société". Dans le même temps, la recherche sur les idées des élèves a attiré l'attention sur des problèmes, jusque-là sous-estimés, d'apprentissage et d'enseignement, susceptibles d'expliquer en grande partie le succès limité des efforts curriculaires dès que ceux-ci concernent des apprentissages cognitifs. Les solutions envisagées sont principalement issues de perspectives cognitives constructivistes; elles sont formulées en termes de stratégies générales d'enseignement visant un "changement conceptuel" plus ou moins contraint. De notre point de vue, une "recherche-développement" couplant de façon cyclique développements curriculaires à petite échelle et recherche approfondie en situation de classe sur les processus d'enseignement-apprentissage est nécessaire. De telles recherches devraient produire des exemples de manières d'enseigner fructueuses, en relation avec de nouvelles structures conceptuelles

des programmes. L'élaboration de telles "structures didactiques" constitue un programme de recherche à long terme, et demande des échanges et une coopération internationaux.

Mots clés : *constructivisme, structure didactique, relation théorie-pratique, recherche-développement, développement curriculaire.*

Abstract

In the past decades, much work has been done in physics education on large scale curriculum development, ranging from a "structure of the discipline" approach to STS. At the same time, research on pupils' ideas has drawn attention to underestimated problems of learning and teaching, that may largely explain the limited success of the curriculum efforts as far as cognitive learning is concerned. Proposed solutions are mainly inspired by a constructivist cognitive science perspective and are formulated as general teaching strategies that aim at a, more or less forced, process of "conceptual change". However, in our view, "developmental research" is needed in which small scale curriculum development is cyclically coupled to in-depth classroom research of teaching-learning processes. Such research should result in worked out examples of successful ways of teaching, according to new conceptual curriculum structures. Designing such "didactical structures" constitutes a longer term research programme, that asks for international exchange and cooperation.

Key words : *constructivism, didactical structure, relation theory-practice, developmental research, curricular development.*

INTRODUCTION

Un travail considérable visant à améliorer l'enseignement de la physique a été réalisé depuis les années cinquante. Un grand nombre de programmes de développement de curricula ont été lancés dans ce but avec différentes perspectives. L'accent a été mis selon les cas sur "la structure de la discipline", sur "l'enseignement par la découverte" et "être un chercheur pour un jour", sur la théorie piagétienne et les stades de développement cognitif, et dernièrement sur ce que l'on appelle l'éducation "science - technique - société" (STS) (Eijkelhof & Kortland, 1988 ; Yager, 1992).

Une part importante du travail récemment réalisé sur les curricula s'est effectuée par réaction aux curricula développés antérieurement (parmi lesquels le PSSC et Nuffield O-Level Physics furent des exemples très suivis), qui ont été considérés comme non adaptés à tous les élèves. Aux Pays-Bas, par exemple, le projet PLON a représenté un effort important de développement de programmes "science-technique-société" pour l'enseignement secondaire.

Sa principale raison d'être peut être définie succinctement comme : "physique pour tous, par la mise en œuvre d'un enseignement-apprentissage fondé sur l'activité des élèves dans des contextes signifiants de la vie quotidienne" (Lijnse et al., 1990 ; Eijkelhof & Kortland, 1988). Les attentes par rapport à un tel enseignement étaient, d'une part que les élèves perçoivent les contenus enseignés comme plus signifiants, et d'autre part qu'ils soient davantage en mesure de comprendre et de mettre en relation avec le monde extérieur les concepts appris à l'école. L'évaluation a montré que la première proposition était raisonnable ; la seconde est apparue moins évidente (Wiestra, 1990). Ceci illustre à nos yeux un sentiment plus général, à savoir que les efforts curriculaires n'ont pas (encore) produit de réels progrès, tout au moins si l'on s'intéresse à un apprentissage signifiant de la physique.

Dans le même temps, la recherche en didactique de la physique, dans un deuxième domaine d'activité, a produit de nombreuses études qui ont attiré l'attention sur l'importance de thèmes tels que les "*alternative frameworks*"¹, la résolution de problèmes et la métacognition. Ces résultats peuvent, au moins pour une part, expliquer que les efforts curriculaires passés n'aient été que modérément fructueux. Et il semble que nous devions encore trouver de meilleures façons d'enseigner la physique. On peut bien sûr arguer que ces améliorations pourraient venir de l'application des résultats de recherche à la pratique. Néanmoins, dans la mesure où une bonne part de la recherche en didactique de la physique est intégrée théoriquement dans une perspective cognitiviste et dans les philosophies modernes de la connaissance, sa production consiste surtout en des stratégies et théories plus générales. Ceci explique, à notre avis, que les plaintes au sujet de l'écart entre théorie et pratique soient aussi sérieuses que durables (Wright, 1993).

C'est pourquoi il faut, comme nous allons l'expliciter, développer d'autres recherches qui prennent appui sur un cadre théorique plus fortement lié au contenu. De fait, nous considérons l'amélioration de l'enseignement de la physique, à un niveau très concret, comme le but principal de la recherche en didactique de la physique. A voir la littérature, nous ne sommes pas certains qu'un tel but puisse être considéré comme admis. Nos théories devraient avoir pour but, en premier lieu, non pas tant de contribuer à des idées générales sur l'enseignement et l'apprentissage, bien que nous puissions et devions en élaborer, mais plutôt de comprendre et d'améliorer la pratique de l'enseignement de la physique. Ce point de vue pragmatique a peut-être à voir avec le fait qu'à Utrecht, comme en d'autres lieux du continent européen, la recherche en didactique de la physique est développée dans le cadre du département de physique de l'université, ce qui diffère par exemple de pays tels que la Grande-Bretagne, l'Australie et le Canada où elle est principalement développée dans les "*Schools of Education*". Comme on le sait, les chercheurs

1. Nous avons volontairement conservé "*alternative frameworks*", qui pourrait être traduit par "conceptions alternatives" (NDLR).

en sciences de la nature, les physiciens en particulier, sont extrêmement sceptiques sur la valeur de la recherche en éducation. Ceci devient douloureusement sensible en des temps de restrictions budgétaires où, dans de nombreux endroits, des chercheurs en didactique de la physique (ou d'autres disciplines scientifiques) sont parmi les premiers à être remplacés. Ainsi, savoir si la recherche en didactique de la physique ne mène pas seulement à des discussions, mais si elle constitue également un préalable nécessaire à des améliorations démontrables de l'enseignement scientifique lui-même n'est pas, loin s'en faut, une question académique ; c'est pour les chercheurs une question de survie.

1. L'INSTRUCTION "DU HAUT VERS LE BAS"

Si l'on regarde de plus près les programmes de physique "traditionnels", on peut dire que les concepts enseignés sont, en général, les concepts de base de la physique. L'ordre dans lequel ils sont enseignés reflète la structure "logique" de base de la discipline. Les situations dans lesquelles ces concepts doivent être appliqués sont les habituelles situations paradigmatiques idéalisées. C'est justement ce dernier aspect que les programmes STS souhaitent modifier, en enseignant dans des contextes de la vie réelle, tout en conservant inchangées pour l'essentiel, en général, la structure et la séquentialisation des concepts - mis à part le fait que la complexité des situations réelles peut rendre nécessaires de nouveaux concepts (voir par exemple PLON, 1986 ; De Jong et al., 1990).

Que ce soit dans les programmes traditionnels ou dans la plupart des curricula STS, l'enseignement se base et se focalise sur la physique, sans prendre véritablement en compte ce que les élèves connaissent, pensent, ce qui les intéresse et ce qui est pertinent par rapport aux contextes visés. La stratégie a alors pour but la transmission "de haut en bas" des concepts, même si la manière d'enseigner peut comporter de nombreuses activités de "discussion" et de "découverte". Dans les deux types de curricula, un tel enseignement conduit de façon inévitable à un processus de développement conceptuel contraint, ce qui explique l'absence apparente mentionnée ci-avant de différences en termes d'effets d'apprentissage (Wiestra, 1990). Comme nous l'avons déjà signalé, de nombreuses recherches ont montré que les pré-connaissances des élèves doivent faire l'objet de davantage d'attention dans l'enseignement. De cela on tire argument pour affirmer que l'apprentissage suppose un processus de changement conceptuel plutôt que de transmission de concepts. Dans un enseignement STS, les idées communes des élèves jouent même un rôle plus problématique que dans l'enseignement traditionnel. Enseigner la physique en référence à des contextes de la vie quotidienne oblige à affronter la complexité de tels contextes ; ce choix a pour autre conséquence que l'on ne peut certainement plus ignorer les problèmes conceptuels

associés aux différences entre connaissance commune et physique. De plus, il apparaît que les élèves ont aussi des idées "du sens commun" concernant les contextes par rapport auxquels ils doivent appliquer les connaissances qui font l'objet d'apprentissages.

C'est ce dernier type de pré-connaissance qui explique pourquoi, même si nous réussissions raisonnablement dans l'enseignement d'un savoir conceptuel correct, celui-ci ne pourrait cependant pas être mis en œuvre dans des situations de la vie réelle, comme nous l'avons repéré par exemple dans notre recherche sur l'enseignement de la radioactivité dans une perspective d'analyse des risques (Eijkelhof, 1990).

2. LE CHANGEMENT CONCEPTUEL : UN ENSEIGNEMENT "DU HAUT VERS LE BAS" AMÉLIORÉ ?

Nous pouvons admettre avec beaucoup d'autres la nécessité de stratégies d'enseignement améliorées qui prennent en compte les pré-connaissances des élèves. Ceci reflète le choix d'une perspective (au moins) "trivialement constructiviste" (Von Glasersfeld, 1989), qui est impliquée dans des affirmations telles que "*le sens se construit*" et "*les concepts ne peuvent être transférés des enseignants vers les élèves*" (Duit, Goldberg & Niedderer, 1992), etc. Prendre le "constructivisme trivial" au sérieux suppose un important changement de perspective, qui n'est didactiquement pas du tout trivial. Cependant ceci ne dit pas encore grand chose sur la manière d'enseigner. La phrase "*l'enseignant doit avoir une bonne idée des concepts que les élèves peuvent déjà avoir, et dès lors engager les élèves dans des activités susceptibles de les aider à construire la compréhension désirée*" (Duit et al., 1992) donne une part trop importante de ce travail essentiel au professeur et aux élèves, et trop peu au chercheur.

Freudenthal (1991), dans un commentaire sur le "constructivisme", écrit : "*Si « constructivisme » doit vouloir dire quelque chose de didactique, ce mot doit préciser qui est censé « construire ». [...] Si j'envisageais d'accepter le terme « constructivisme », je voudrais dire un programme ayant une philosophie qui confère aux apprenants la liberté de leur propre activité. [...] En l'absence d'un contexte convaincant, des termes tels que construction, reconstruction et constructivisme sont condamnés à rester des slogans. Le seul contexte qui compte sur le plan didactique est l'instruction elle-même, c'est-à-dire l'instruction développée en allant de sa conception jusqu'à sa réalisation.*"

Ceci désigne, à notre avis, un problème essentiel. Si l'on ignore la liberté des apprenants, l'enseignement produit inévitablement un développement conceptuel contraint et donc des conceptions erronées. Il est contradictoire de se réclamer du "constructivisme", à savoir le point de vue selon lequel les élèves (ou les personnes) construisent leur propre compréhension sur la

base de ce qu'ils connaissent déjà, et en même temps de prescrire ce qu'ils doivent construire, ou de dévaluer immédiatement ce qui a été construit. Le problème majeur de l'enseignement constructiviste est donc de concevoir un enseignement susceptible d'amener les élèves à construire librement les idées que l'on veut justement leur enseigner. Freudenthal nomme ce processus d'apprentissage "*réinvention guidée*" (à ne pas confondre avec le "classique" apprentissage par la découverte). Dans la plupart des "modèles constructivistes d'enseignement" développés à ce jour, c'est précisément cette nécessaire liberté des apprenants à réaliser et suivre leurs propres constructions qui manque ou est sous-évaluée.

De fait, on pourrait raisonnablement jeter un doute sur le qualificatif de "constructiviste" affecté à de telles approches. Par exemple, dans le changement de statut – modèle du "*changement conceptuel*" (Posner et al., 1982) –, les conceptions des élèves sont surtout considérées comme de mauvaises idées qui doivent être modifiées aussi vite que possible. Pour ce faire, l'enseignant doit concevoir des activités qui affaiblissent la valeur des idées des élèves et valorisent les idées enseignées. On voit mal comment une telle approche peut construire de façon positive sur les propres élaborations des élèves. Ceci s'applique également, de façon plus ou moins importante, aux stratégies de conflit (Nussbaum & Novick, 1982) ou à l'approche CLISP telle qu'elle est décrite par Driver et Oldham (1986). Ainsi, nous sommes en désaccord avec Scott et al. (1992) lorsque, dans leur description de trois voies d'enseignement, ils déclarent: "*Toutes ces voies tentent d'établir des liens entre la pensée des élèves et le point de vue scientifique et peuvent donc être considérées comme des approches constructivistes d'enseignement également justifiées.*" C'est précisément la manière dont ces liens sont développés qui constitue une différence cruciale. Autrement, le terme "constructiviste" perd presque sa signification. Cela ne veut pas dire, bien sûr, que de telles approches ne peuvent améliorer les résultats de l'apprentissage par rapport à ceux de l'enseignement traditionnel. Cela explique cependant que l'éventail de telles améliorations est et restera limité. Fondamentalement, ces approches pourraient être caractérisées comme utilisant de nouvelles stratégies pour améliorer l'enseignement "du haut vers le bas".

A notre avis, un changement plus radical est nécessaire. Si nous voulons que les élèves comprennent réellement et se servent de ce qu'on leur enseigne, nous devons nous engager avec eux dans un processus d'apprentissage "de bas en haut". A l'instar de Freudenthal, nous pourrions dire que nous ne devrions pas enseigner les concepts de physique (comme produits), pas même d'une manière constructiviste comme décrit ci-dessus, mais guider les élèves dans l'activité de "physicaliser" leur monde. Ceci suppose de concevoir de façon précise des tâches d'apprentissage en s'appuyant sur une connaissance approfondie des pré-connaissances des élèves et de leur développement en relation avec l'ensemble des tâches d'apprentissage. Ceci entraîne une tension entre "un guidage par l'aval" et "la liberté par l'amont",

que l'on peut seulement réguler de façon empirique. La conception d'un tel enseignement est donc nécessairement un processus empirique de recherche et de développement fortement interconnectés, que nous appellerions "recherche-développement". Ceci suppose un processus cyclique de réflexion théorique, analyse conceptuelle, développement curriculaire à petite échelle, et recherche en situation de classe de l'interaction entre processus d'enseignement et d'apprentissage. La description et la justification finales, fondées empiriquement, de ces processus et activités en étroite interaction constituent ce que nous appelons une "structure didactique" possible sur le sujet considéré.

3. L'APPRENTISSAGE SIGNIFIANT DE LA PHYSIQUE : UN PROCESSUS PRODUCTIF DE COMMUNICATION

Lors du développement de telles structures didactiques, un des principaux centres d'intérêt est l'étude du langage et des actions des élèves, et des professeurs, dans les situations interactives d'enseignement. Ceci pose inévitablement le "*problème de l'interprétation*" (Klaassen, 1994b). De notre point de vue, ce problème est rarement traité de façon convenable. Nous pensons qu'il n'est pas très pertinent de conclure par exemple que, du point de vue du physicien, les élèves ont de nombreuses conceptions erronées et qu'ils raisonnent de manière inconsistante d'un contexte à l'autre, bien que les deux soient très courants dans la littérature sur les "changements conceptuels". De telles conclusions ne sont en général pas fondées sur une interprétation de ce que disent les élèves, mais seulement de ce qu'ils ne disent pas, c'est-à-dire la physique correcte. Pour être capable de construire les connaissances des élèves, et d'utiliser leurs constructions de manière productive, nous devrions d'abord connaître, quand ils disent ce qu'ils disent, ce qu'ils signifient réellement.

Klaassen (1994a) a attiré l'attention sur ce problème. Il considère qu'une interprétation pertinente devrait être au centre de l'enseignement de la physique (en fait de tout l'enseignement) et qu'une grande partie de la littérature sur les idées des élèves est coupable d'une mauvaise interprétation. Le problème de l'interprétation se pose ainsi : comment être capable de se comprendre mutuellement, étant donnée la nature des faits que nous avons à notre disposition ? Le raisonnement de Klaassen (1994a, 1994b) que je suis brièvement ici, est fondé sur les travaux de Davidson (par exemple 1990), un philosophe du langage bien connu ; selon lui, la plus petite unité dans laquelle le problème de l'interprétation peut être résolu est un triangle : deux des sommets sont les interlocuteurs qui sont conscients du triangle et le troisième sommet est le monde des objets et des événements partagés par les interlocuteurs, dont les propriétés et l'existence sont indépendants de ce qu'ils pensent. Quand on interprète la compréhension interpersonnelle, il y a une

exigence nécessaire à affronter, afin de rendre intelligible la conduite de la personne que l'on interprète : il faut décrire les actions de la personne et ce qu'elle croit et désire de telle manière que, comme cela a été décrit, on puisse voir que ce que fait cette personne est la seule chose raisonnable qu'elle ait à faire. Ainsi, dans l'interprétation, il est nécessaire d'imposer les conditions de cohérence et de consistance sur l'ensemble des croyances, désirs, intentions, actions, etc., que nous attribuons à la personne.

Afin de donner du contenu à ce que pense précisément une personne, nous devons affronter une autre exigence. Celle-ci est fondée sur l'idée évidente que, dans la plupart des cas, cette pensée concerne les objets et les événements qui en sont la cause. Ces deux exigences, qui dans leur interaction complexe nous permettent cette compréhension interpersonnelle, peuvent être résumées ainsi : pour que quelqu'un soit compréhensible, on doit l'interpréter de telle manière qu'il soit très largement consistant, qu'il croie en ses vérités, et qu'il aime ce qui est bien (de point de vue de celui qui interprète). Ceci constitue, sous une forme résumée, le principe de charité de Davidson que Klaassen invoque comme un guide nécessaire pour l'interprétation de ce que pensent les élèves aussi bien que pour la construction d'un "bon enseignement". Toute interprétation dépend de notre habileté à trouver une base commune.

Une des conséquences de ce principe est que nous ne devons pas interpréter les paroles des élèves à un niveau "atomique", mais que nous devons essayer de trouver un modèle (*pattern*) qui prenne en compte le plus de paroles possible (ce qui est l'opposé de ce qui arrive dans la plupart des questions de recherche sur les conceptions erronées). Partant du fait que, fondamentalement, nous vivons dans le même monde que nos élèves, nous pouvons conclure que nous ne comprenons pas leurs propos tant que nous n'avons pas le sentiment que, dans certaines circonstances, ce qu'ils disent a du sens. Ce point de vue est plutôt en contradiction avec la plupart des interprétations constructivistes des idées des élèves, et avec sa branche radicale en particulier. Grandy et Hamilton (1993), par exemple, écrivent au sujet des théories des élèves : "*Naturellement, ces théories sont souvent incomplètes, incohérentes et peu judicieuses.*" On a porté beaucoup d'attention au processus individuel de construction des connaissances, laissant la nature essentiellement sociale de la communication et de l'interprétation largement en dehors de l'étude. Cependant, si l'enseignement de la physique est concerné par la compréhension des connaissances culturelles publiques, la recherche ne devrait pas se centrer autant sur les aspects individuels et idiosyncratiques de la construction des connaissances, mais plutôt sur ses aspects essentiellement communs.

Réaliser que le système de croyances "du sens commun" des élèves concernant le monde, étant ce qu'il est, ne peut qu'être en grande partie correct, conduit à considérer qu'il y a une base commune de départ de la communication et de l'enseignement. Interpréter l'apprentissage de la physique

comme un apprentissage à parler, au moins partiellement, de façon nouvelle du monde commun dans lequel nous vivons, ne conduira à un apprentissage signifiant que si les élèves sont engagés dans un processus graduel et social, dans lequel une compréhension mutuelle est constamment assurée. Comme le pose Freudenthal (1991), il s'agit d'étendre, de systématiser et d'organiser les expériences des élèves dans un "sens commun" d'un ordre de plus en plus élevé. Ainsi, au lieu de juger qu'entre la connaissance scientifique et la connaissance commune, il y a discontinuité (Reif & Larkin, 1991), on devrait considérer celles-ci comme les points extrêmes d'une échelle. Cela ne veut pas dire que la connexion ne puisse pas être faite de manière continue (quoi que cela puisse signifier). Ainsi, si le professeur parle le langage de la physique, et même s'il s'exprime dans des termes simples, il ne peut être immédiatement compris comme il le voudrait par les élèves qui ne connaissent pas ce langage (par exemple Lijnse, 1992). Ceci est la véritable caractéristique de ce que nous avons décrit comme un enseignement "du haut vers le bas". Le résultat est connu comme étant du verbalisme, des conceptions erronées et des connaissances insuffisamment opératoires. Cela signifie que, lorsque les chercheurs se lamentent sur les conceptions erronées et leur "résistance au changement", le blâme porte sur les élèves qui ne comprennent pas ce qu'on leur enseigne. A notre avis, ce blâme devrait porter sur notre manière inopportune d'enseigner. La résistance des *"alternative frameworks"* n'est pas un donné, elle indique seulement que dans notre enseignement nous ne savons pas encore laisser les élèves développer leurs *"alternative frameworks"* de manière productive. Et, si nous ne savons pas comment enseigner de façon productive, alors d'un tel enseignement résultent inévitablement des conceptions erronées. Celles-ci sont alors le résultat d'un "mauvais" enseignement. "Mauvais" non pas dans un sens absolu, mais dans le sens que nous ne savons pas encore comment le faire différemment. C'est précisément pourquoi nous avons besoin de recherche pour trouver de nouvelles voies.

Réussir à se comprendre est essentiellement un processus social : il s'agit de parler, d'interpréter ce sur quoi on parle, et d'organiser des événements où les participants puissent se mettre d'accord. L'étude de l'apprentissage de la physique devrait alors se centrer sur ce processus social. Comment le réguler de telle manière qu'il soit et reste enraciné dans une compréhension mutuelle ? Comprendre ce processus est alors la clé de la compréhension de l'enseignement et de l'apprentissage. Cela signifie entre autres que les processus d'apprentissage, du côté des élèves, devraient être étudiés en relation avec les processus d'enseignement, du côté des professeurs. Les études sur le développement individuel des concepts (Scott, 1992 ; Niedderer & Goldberg, 1993) passent à côté de cet aspect essentiel de l'enseignement et de l'apprentissage de la physique. Les relations étroites et indispensables entre l'apprentissage et l'enseignement semblent précisément être absentes, par exemple, dans la citation suivante : *"Une fois que nous aurons commencé à mieux comprendre comment les idées des enfants peuvent progresser dans des domaines particuliers de la science, alors nous serons mieux placés pour développer des*

approches d'enseignement pour appuyer cette progression." (Scott, 1992). Un tel centrage sur "ce qui est dans le cerveau" (Niedderer & Goldberg, 1993) semble avoir son origine dans la recherche en sciences cognitives. Comme nous l'avons clairement dit dès le début, de notre point de vue la recherche sur l'éducation scientifique devrait prendre une autre voie.

4. D'AUTRES ASPECTS POUR CONCEVOIR DES STRUCTURES DIDACTIQUES

Bien que le principe de charité puisse constituer un point de vue nécessaire pour construire des structures didactiques productives, il ne fournit pas, bien sûr, des indications concrètes pour une telle construction. Aussi nous mentionnons ci-dessous quelques aspects intimement liés dans l'élaboration de structures didactiques.

Les buts et les objectifs

La conception de l'instruction et des études sur les processus d'apprentissage et d'enseignement ne peut être séparée d'un point de vue sous-jacent sur l'éducation (en physique). Par exemple, dans notre travail, nous donnons toujours beaucoup d'importance à la "physique contextualisée", ou dans une terminologie STS à la signification personnelle et sociale du contenu d'un curriculum. En termes modernes, ceci entraîne que le point de vue de la "cognition située" devrait être développé, à la fois comme point de départ et comme point d'arrivée pour l'enseignement. Cependant, quels que soient les buts et les objectifs, ils ne peuvent être fixés *a priori*; ils découlent aussi d'un processus de recherche-développement.

La motivation

Cet aspect demande que nous considérons l'intérêt des élèves non seulement de façon globale, comme cela est tenté dans les curriculums STS, mais aussi de façon "locale". Les activités devraient être conçues de telle manière que les constructions propres des élèves, leurs questions et leur motivation guident largement le professeur (et le concepteur). Un tel enseignement peut seulement avoir lieu dans des situations ouvertes d'apprentissage, dans lesquelles la tâche du professeur est de problématiser le sujet et de faire émerger les questions des élèves, de leur permettre de penser à des hypothèses possibles ou des réponses, de leur permettre de concevoir des façons de tester leurs hypothèses, de leur donner l'information et de réagir de manière appropriée, etc.

Le développement conceptuel

Cet aspect est au cœur du sujet. On peut caractériser les grandes lignes d'un enseignement non contraint par trois périodes successives (Ten Voorde, 1977, 1990 ; Klaassen, 1994b) :

1) une période de sélection de l'attention, ancrée dans le monde des élèves et visant à leur permettre de sélectionner leurs connaissances. Les élèves prennent alors conscience d'un besoin d'apprendre, de formuler un problème commun ;

2) une période correspondant à une transition du niveau de base à un niveau descriptif ;

3) une période au cours de laquelle, si nécessaire, il y a transition du niveau descriptif à un niveau théorique.

La métacognition

Dans la perspective de la métacognition, l'enseignement devrait en grande partie poser les problèmes au lieu de les résoudre. Ceci signifie qu'au lieu de demander aux élèves de regarder en arrière et de réfléchir sur leurs idées et opinions pour les remplacer, ce qui est une recommandation habituelle, le défi de l'approche "du bas vers le haut" est de demander aux élèves de regarder en avant et de réfléchir avec ce qu'ils savent déjà pour étendre leurs savoirs, en les laissant eux-mêmes expliciter et formuler des problèmes qui entraînent un processus d'apprentissage. Ils peuvent alors développer une prise de conscience plus positive de leurs propres processus d'apprentissage, attitudes et capacités.

L'apprentissage des professeurs

Il est essentiel de se centrer non seulement sur l'apprentissage des élèves, mais aussi, en relation directe, sur celui des professeurs (en physique et en didactique). Nous ne devrions pas seulement partir des idées des élèves sur le monde, mais aussi des idées des professeurs sur l'enseignement et l'apprentissage. Pour éviter un trop grand écart entre théorie et pratique, il semble nécessaire que, sauf si des outils concrets d'enseignement sont déjà disponibles pour les élèves, les deux processus d'apprentissage (élèves et professeurs) soient étudiés ensemble, réfléchis et pris en compte dans des outils de formation initiale et continue des maîtres.

La structure du curriculum

Comme la structure disciplinaire de la physique n'est pas le point de départ le plus adapté pour concevoir le contenu d'enseignement, nous suggérons que la recherche-développement à long terme conduise à une structure didactique qui s'appuie sur des recherches empiriques permettant l'enseignement de l'ensemble de la physique. Ceci consiste en une description empirique d'un développement conceptuel longitudinal et enseignable autour de sujets tels que "la structure de la matière", "les causes et processus", "mathématisation et modélisation"... Un tel but demande aussi une réflexion profonde sur les concepts, la structure, l'histoire et les buts de la physique.

La théorie didactique

On peut décrire de façon détaillée des structures didactiques possibles pour un certain sujet dans ce que nous appelons un scénario. Un scénario décrit et justifie avec un nombre considérable de détails les tâches d'apprentissage et leur relations, et quelles actions les élèves et le professeur sont supposés faire. Ceci peut être envisagé comme la description et la justification théorique de processus hypothétiques d'enseignement et d'apprentissage, en étroite relation. En mettant à l'épreuve ce scénario et en le contrôlant, on peut le tester, et en conséquence le réviser. A la fin, on peut considérer le scénario comme une théorie spécifique d'un domaine concernant l'enseignement et l'apprentissage d'un sujet particulier. Une réflexion sur les scénarios pour des sujets différents peut conduire à des théories de "plus haut niveau".

La méthodologie de recherche

La recherche-développement utilise une grande variété de méthodologies. Dans les premières étapes, l'accent est principalement mis sur l'utilisation de méthodes qualitatives d'interprétation, parmi lesquelles : l'introspection, les entretiens, l'observation de classe, l'analyse de protocoles de processus d'apprentissage, l'analyse du développement historique des concepts, l'analyse du contenu, etc. En général, plusieurs méthodes peuvent être utiles pour révéler et clarifier les problèmes d'enseignement et d'apprentissage, et trouver des idées pour les résoudre. Dans les étapes ultérieures, on peut utiliser également des méthodes plus quantitatives.

Le scénario sert de description et de justification des méthodes et résultats, les décrivant et les analysant en profondeur afin qu'il soit convaincant par lui-même. Il ne s'agit pas de "prouver" quelque chose mais de rendre possible pour les autres de juger ce qui a été fait et leur permettre de "reconstituer" par eux-mêmes les processus décrits.

La diffusion et la mise en œuvre

Bien que de tels scénarios ne soient certainement pas suffisants pour résoudre les problèmes usuels de mise en œuvre, le fait qu'ils soient construits à partir de recherche et de développement en classe, constitue un avantage potentiel considérable si l'on veut établir des liens entre la théorie et la pratique à un niveau concret. En fait, comme le propose Freudenthal (1991), le terme "mise en œuvre de résultats" n'est pas adéquat dans le cas de la recherche-développement. Celle-ci demande beaucoup plus un processus graduel et continu de diffusion, d'usage, de réflexion et de développement ultérieur d'idées, afin d'établir des changements à tous les niveaux.

Les valeurs

Comme toute l'éducation est fondée sur des valeurs, la conception de structures didactiques demande un enracinement explicite dans ce qu'on pourrait appeler "une vision globale" de l'enseignement de la physique, c'est-à-dire une vision intégrée de la nature de l'enseignement et de l'apprentissage, de la nature et du contenu de la physique, de la nature et des buts de l'éducation en général et de l'enseignement de la physique en particulier.

EN GUISE DE CONCLUSION

Dans cet article nous plaidons en faveur d'une "recherche-développement", comme voie cohérente à la fois de développement de l'enseignement de la physique et de progrès vers une théorie didactique. Comme tel, cela peut être considéré comme un programme de recherche à long terme. Notre plaidoyer est issu d'une insatisfaction par rapport à la recherche actuelle sur l'enseignement des sciences. La plupart des résultats de recherche sont si généraux qu'ils ne peuvent déboucher sur une prescription concernant la façon dont ils devraient ou pourraient être appliqués. De ce fait, la tâche de mise en œuvre de ces résultats est à la charge des praticiens. Cela signifie que la même théorie peut en pratique être appliquée de manière très différente. Ainsi, sous le même titre de théorie, il y a dans la réalité de grandes différences.

Pour éviter ce problème, nous visons une description détaillée, une justification et une compréhension des activités et des processus d'enseignement et d'apprentissage d'un contenu spécifique. En travaillant dans cette perspective, nous devons naturellement intégrer des idées plus générales à celles sur les contenus spécifiques, puisque les deux jouent un rôle. Cependant, nous aimerions insister sur le fait que si les chercheurs en didactique de la physique (en coopération avec les professeurs) ne se centrent pas sur ces derniers, personne d'autre ne pourra le faire, et personne d'autre ne pourra mettre une

théorie, quelle qu'elle soit, en pratique. Malheureusement, précisément à cause des caractéristiques décrites, la recherche-développement n'est pas (encore ?) considérée comme réellement de la recherche, opinion qui semble même être reflétée par la littérature internationale de recherche sur l'enseignement des sciences. Si, en tant que communauté de recherche, nous ne réussissons pas à échanger points de vue et expériences concernant la construction et la description des activités effectives d'enseignement-apprentissage, et les processus à un niveau plus concret, les progrès réels dans notre champ resteront fortement inhibés, et restreints à un échange de rhétorique théorique.

La recherche-développement combine, comme dit précédemment, le pratique et le théorique, l'apprentissage des élèves et l'apprentissage des enseignants, les buts de l'enseignement de la physique et leur nécessaire pédagogie. Elle n'a pas pour but de construire de "grandes théories" telles que, par exemple, la compréhension de l'esprit humain, mais de comprendre et développer une bonne pratique d'enseignement. Cela peut être une manière de travailler plus réaliste dans ses buts bien que, en même temps, elle impose la nécessité d'un grand effort. Beaucoup trop grand, en fait, pour être fait par quelques personnes seulement, car cette manière de travailler demande une coopération internationale à un niveau très concret.

Remerciements

Je voudrais remercier de nombreux collègues pour les discussions enrichissantes et pour leur approbation de l'utilisation (éventuellement incorrecte) de leurs idées, en particulier : H.M.C. Eijkelhof, C.W.J.M. Klaassen, A.H. Verdonk and H.H. ten Voorde.

BIBLIOGRAPHIE

DAVIDSON D. (1990). *Essays on actions and events*. Oxford, OUP.

DE JONG E., ARMITAGE F., BROWN M., BUTLER P. & HAYES J. (1990). *Physics in context*. Melbourne, Heinemann Educational.

DRIVER R. & OLDHAM V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, n° 13, pp. 105-122.

DUIT R., GOLDBERG F. & NIEDDERER H. (Eds.) (1992). *Research in physics learning : theoretical issues and empirical studies*. Kiel, IPN.

EIJKELHOF H.M.C. & KORTLAND J. (1988). Broadening the aims of physics education - experiences in the PLON-project. In P.J. Fensham (Ed.), *Development and Dilemmas in Science Education*. London, Falmer Press, pp. 282-305.

EIJKELHOF H.M.C. (1990). *Radiation and risk in physics education*. Utrecht, CD-β Press.

EIJKELHOF H.M.C. & LIJNSE P.L. (1992a). Experiences with research and development to improve STS-education on radioactivity and ionizing radiation. In R.E. Yager (Ed.), *The status of science-technology-society reform efforts around the world*. ICASE-Yearbook 1992, ICASE, pp. 47-55.

FREUDENTHAL H. (1991). *Revisiting Mathematics Education*. Dordrecht, Kluwer.

GRANDY R. & HAMILTON R. (1992). Prototypes and Conceptual Change. In S. Hills (Ed.), *The History and Philosophy of Science and Science Education*, vol. I. Kingston, Queen's University, pp. 435-448.

KLAASSEN C.W.J.M. (1994a). Knowledge acquisition as interpersonal understanding. In P.L. Lijnse (Ed.), *European Research in Science Education*. Utrecht, CD-β Press, pp. 322-330.

KLAASSEN C.W.J.M. (1994b). *A problem posing approach to the teaching of radioactivity* (titre provisoire). Utrecht, CD-β Press (à paraître).

LIJNSE P.L., LICHT P., DE VOS W. & WAARLO A.J. (Eds) (1990a). *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*. Utrecht, CD-β Press.

LIJNSE P.L., KORTLAND K., EIJKELHOF H.M.C., VAN GENDEREN D. & HOOYMAYERS H.P. (1990b). A thematic physics curriculum: a balance between contradictory curriculum forces. *Science Education*, n° 74, pp. 95-103.

LIJNSE P.L. (1992). Pupils and teachers operating from different frames of reference: a main problem in physics teaching. In H. Kühnelt, M. Berndt, M. Staszal & J. Turlo (Eds), *Teaching about reference frames, from Copernicus to Einstein*. Torun, NCUP, pp. 392-397.

NIEDDERER H. & GOLDBERG F. (1993). *Qualitative interpretation of a learning process in electric circuits*. Atlanta, NARST.

NUSSBAUM J. & NOVICK S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, n° 11, pp. 183-200.

PLON (1986). *Curriculum materials*. Utrecht University, Zeist NIB.

POSNER G.J., STRIKE K.A., HEWSON P.W. & GERTZOG W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, vol. 66, n° 2, pp. 211-227.

REIF F. & LARKIN J.H. (1991). Cognition in Scientific and Everyday Domains: Comparison and Learning Implications. *Journal of Research in Science Teaching*, n° 28, pp. 733-760.

SCOTT P.H. (1992). Pathways in learning Science: A case study of the development of one student's ideas relating to the structure of matter. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds), *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel, IPN.

SCOTT P., ASOKO H., DRIVER R. & EMBERTON J. (1992). *Working from children's ideas : An analysis of constructivist teaching in the context of a Chemistry topic*. Melbourne, Monash (à paraître).

TEN VOORDE H.H. (1977). *Verwoorden en Verstaan*. Den Haag, SVO/SDU.

TEN VOORDE H.H. (1990). On teaching and learning about atoms and molecules from a Van Hiele point of view. In P.L. Lijnse et al. (Eds.), *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles*. Utrecht, CD-β Press, pp. 81-104.

VON GLASERSFELD E. (1989). Cognition, Construction of Knowledge, and Teaching. *Synthese*, n° 80, pp. 121-140.

WIERSTRA R.F.A. (1990). *Natuurkundeonderwijs tussen leefwereld en vakstructuur*. Utrecht, CD-β Press.

WRIGHT E.L. (1993). The irrelevancy of science education research : perception or reality ? *NARST News*, n° 35, pp. 1-2.

YAGER R.E. (Ed.) (1992). *The status of science-technology-society reform efforts around the world*. ICASE Yearbook 1992, ICASE.

COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS



Les analogons et la maquette didactique

Sophie RENÉ DE COTRET, Réal LAROSE

Université de Montréal
Faculté des sciences de l'éducation
Département de didactique
C.P. 6128, Succursale "A"
Montréal (Québec)
H3C 3J7 Canada

Résumé

L'étude de "l'analogique", soit comme matériau de communication, soit comme processus cognitif, offre des possibilités novatrices tant pour la formation des maîtres que pour celle des élèves en sciences. La maquette didactique, utilisant l'analogie (sur le plan de la communication et sur celui des processus cognitifs) constitue à notre avis un outil didactique privilégié. Le présent article fait part de la création d'un nouveau cours adressé aux maîtres en formation initiale ou continue. Ces derniers doivent élaborer une maquette de leur invention en s'appuyant sur un cadre théorique relativement nouveau pour la didactique.

Mots clés : *analogie, induction, maquette, didactique, sciences.*

Abstract

Analogical thought offers, we think, a great potential for the teaching and learning of sciences. We therefore want to create didactical devices that can be used as models to help the development of knowledge through ana-

logy. In this paper we will first present the theoretical framework supporting this innovation, and then present some models made by teachers involved in a masters course in science education.

Key words : analogy, induction, model, didactics, science.

INTRODUCTION

Le titre n'est pas très éloquent, d'accord. Mais peut-être aura-t-il au moins piqué la curiosité du lecteur qui voudra savoir ce qu'est un analogon ? Il ne s'agit ni d'une maladie contagieuse ni d'une créature imaginaire, quoique... Les analogons sont des pièces significatives entrant dans la composition d'une construction analogique. Un exemple où il s'agit d'expliquer la rotation automatique du rachis lors de l'inflexion latérale va immédiatement situer le contexte et préciser le sens des propos du présent article.

Lorsqu'une personne se penche sur le côté, les vertèbres de la colonne tournent sur elles-mêmes ; les épines vertébrales vont vers la concavité et les corps vertébraux vers la convexité de la courbure. Cette rotation automatique est produite entre autres par l'effet de la compression des disques entre les vertèbres. Un modèle mécanique (figure 1) tiré de Kapandji (1975, p. 43) recrée le phénomène en utilisant des bouchons de liège taillés en coin (analogons des corps vertébraux) et du caoutchouc mousse (analogons des disques), ces éléments étant collés ensemble de façon à réaliser une maquette de la colonne vertébrale. Le tracé d'une ligne médiane représentant les épines vertébrales sur les "bouchons-vertèbres" permet, lorsque le modèle est incliné, de visualiser la rotation grâce au décalage des segments de la médiane d'une vertèbre à l'autre.

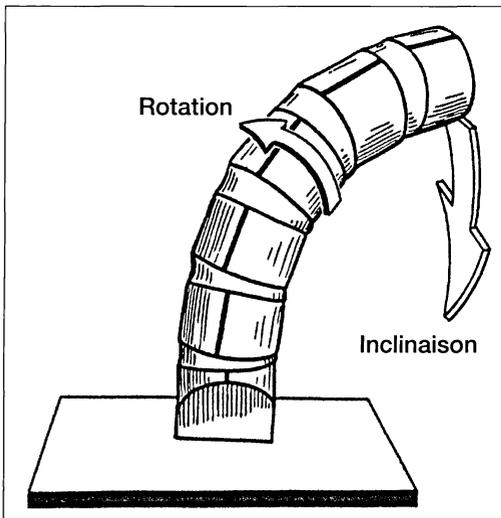


Figure 1 : Le rachis dorsal.

Le lecteur sait maintenant que le présent article considère la maquette didactique mais il reste à savoir dans quel but. La motivation de ce texte est d'intégrer dans le discours didactique des éléments relatifs aux modèles conceptuels, et plus particulièrement aux modèles analogiques, en s'éclairant de la théorie de la communication de Wiener (Wiener, 1948, 1952). L'analogique est alors vu comme outil didactique pour la formation non seulement aux connaissances scientifiques, mais aussi aux dédales qui peuvent mener à leur création. Cette tentative d'intégration a été faite à l'occasion d'un cours de quarante-cinq heures offert à des enseignants. Ceux-ci, tout en ayant la tâche de produire une maquette originale, devaient étudier les propriétés didactiques de la maquette et identifier, d'une part, les conceptions qu'elle pouvait susciter chez les étudiants et, d'autre part, leurs propres conceptions des mécanismes d'apprentissage.

Ainsi, cet article veut ouvrir une porte sur un champ qui apparaît intéressant et fertile tant pour la formation des maîtres que pour celle des élèves. Il ne conclut pas sur les mérites des maquettes analogiques, mais essaie plutôt de montrer le potentiel qui, pensons-nous, réside dans leur création et leur utilisation. Voici un bref exposé des notions abordées dans le cours et quelques réalisations des enseignants.

LES MAQUETTES DIDACTIQUES

Comment procède-t-on de nos jours pour enseigner une théorie scientifique à un élève ? Un bon nombre d'éducateurs admettraient sans doute qu'il faille à un moment donné faire observer des faits ou des résultats expérimentaux qui confirment le bien-fondé de cette théorie : *"il s'agit de leur montrer qu'elle s'impose comme la conséquence logique de ces faits."* Ce qui revient à dire comme l'explique Stengers (Stengers & Schlanger, 1991) que l'idée implicite dans l'enseignement est que, pour toute personne sensée, la théorie doit s'imposer comme la seule réponse possible aux faits en question. L'élève, à la limite, s'il avait été placé dans les mêmes circonstances que Galilée, Newton ou Einstein aurait pu tirer les mêmes conclusions et produire la même théorie. Il s'agit là de la pédagogie de la "re-découverte" pour laquelle, dans la démarche scientifique, nous sommes tous interchangeables (moyennant quelques retouches par l'enseignement). Mais, comme le souligne Stengers (Stengers & Schlanger, 1991), ce discours empiriste, voulant que tout être de bon sens doive s'incliner devant les faits que la science met au jour et les conclusions qu'elle dégage, est largement battu en brèche par le discours actuel de la science qui véhicule l'idée selon laquelle tout fait est imprégné de théorie, celle-ci étant d'abord le fruit d'une invention conceptuelle.

Ce thème de l'invention théorique est rarement invoqué au profit d'une stratégie didactique, et la maquette analogique – suivant la thèse que nous défendons – semble un instrument qui en permet facilement l'exploitation. Du

moins, c'est le genre de conclusion que l'on peut tirer de la lecture de Judith Schlanger (Stengers & Schlanger, 1991) sur la pensée inventive. Elle place la conception des idées neuves au centre de la réflexion scientifique et montre que ce sont surtout les modèles métaphoriques (iconiques, analogiques ou théoriques) qui sont le plus directement liés à la conceptualisation inventive.

Ainsi, il peut être intéressant de ne pas limiter l'enseignement à la transmission de théories scientifiques admises et d'inclure des opportunités favorisant l'invention. C'est ce qui est recherché avec la maquette, en essayant de développer la pensée inventive par l'intermédiaire, entre autres, du raisonnement analogique.

Sur un autre plan, la fabrication de maquettes analogiques conduit l'apprenant à ne pas négliger une autre source du savoir scientifique. En effet, en plus de la théorisation (observation-expérimentation) et de la modélisation (iconique ou mathématique), la technologie (les techniques issues des arts manuels) joue un rôle important dans le développement des sciences. Les didacticiens des sciences tiennent rarement compte du fait que les connaissances scientifiques sont aussi tributaires de l'art et du pragmatique. Pour être une personne de sciences, il faut bien souvent être plombier, électricien, dessinateur, charpentier, souffleur de verre...

L'élaboration de maquettes dans le dessein de faire apprendre des concepts pose de nombreuses questions à celui ou celle qui désire s'y adonner. Uniquement sur le plan des modalités de représentation tridimensionnelle, il est possible de faire appel à différents objets : des reproductions diverses, des mobiles, des "stables", des simulateurs, des modèles réduits ou agrandis, des solutionneurs analogiques (à ce sujet, voir Dewdney, 1984, 1985), des artefacts, des jeux, des icônes, des appareils, des instruments, des outils et des mécanismes en tout genre. Dans le montage d'une maquette certains de ces éléments peuvent être agencés entre eux, faire appel aux différents sens, permettre des interactions, du mouvement, tenir compte ou non de la chronologie des événements et être au besoin complétés par des modes de représentation tels l'écriture, le graphisme, la parole... Toutes ces caractéristiques sont les paramètres d'une taxonomie qui reste à construire.

L'intuition du communicateur est souvent satisfaisante pour réaliser des montages astucieux de maquettes didactiques, mais lorsqu'il est question de vouloir systématiser ce savoir-faire ou lorsqu'on veut dépister à temps les inconvénients de certaines constructions, un cadre théorique minimum s'impose.

LA COMMUNICATION ANALOGIQUE

Le cadre théorique développé par Watzlawick et al. (1972) demeure, malgré les effets pervers de l'utopie de la communication dénoncés par Breton (1992), une approche encore très fertile pour l'étude des phénomènes d'enseignement. Bien que cette théorie ait surtout été proposée pour mieux comprendre les phénomènes psychologiques, il semble que l'étude des objets didactiques y trouve aussi son profit. Sur le plan sémiologique il est proposé dans cette théorie de considérer deux véhicules de communication pour servir de substrat aux messages que s'échangent les humains. En d'autres termes, il y aurait lieu de distinguer deux matériaux d'encodage : les signes analogiques et les signes digitaux (alpha-numériques). Ainsi, pour désigner les objets, il est possible d'utiliser quelque chose qui leur ressemble comme un dessin (l'analogique) ou bien de leur donner un nom (le digital). Or, si le matériau analogique a des rapports directs avec ce qui est représenté – ce qui est le plus souvent le cas pour des maquettes – le digital se sert d'un mot qui est arbitraire et résulte d'une convention sémantique.

Les signes digitaux font appel à une syntaxe logique complexe mais plus précise que les signes analogiques qui cultivent l'équivoque. Le matériau digital, plus que le matériau analogique, permet la complexité, la souplesse, la précision et l'abstraction. Avec l'analogique, il peut devenir difficile d'exprimer la négation, le présent, le passé ou le futur. Le matériel d'un message analogique peut être très antithétique : un cadeau, par exemple, sera perçu comme un remerciement, une aumône, une restitution ou une marque d'affection. Par ailleurs, un tel message bénéficie d'une large diffusion et permet d'évoquer, plus globalement que le message digital, ce que l'on veut transmettre en faisant davantage appel à l'imagination.

Avant de poursuivre, il importe peut-être de souligner que ce que l'on entend ici par analogique est différent de cette figure de style langagière qu'est l'analogie. L'analogique est considéré ici comme étant en fait toute communication non verbale ; le verbal étant pour sa part le digital avec lequel d'ailleurs on produit ces figures de style que sont les analogies.

L'ANALOGIE COMME PROCESSUS COGNITIF

L'étude de l'induction occupe une place importante dans la didactique des sciences, et l'analogie y jouerait un rôle prépondérant. L'induction peut être définie comme un procédé de la pensée pour produire des inférences. Celles-ci sont des prédictions faites au sujet de changements anticipés dans l'environnement. Quand c'est la pensée déductive qui produit des inférences, leur validité est garantie par un formalisme rigoureux. Par ailleurs, la validité des inférences inductives est assurée par le *feedback* du succès ou de l'échec des prédictions. Comme le signalent Holland et al. (1986), l'étude de l'induction se résume donc à l'étude de la façon dont la connaissance est modifiée à partir de son utilisation.

L'induction intègre des connaissances acquises afin de modéliser une situation nouvelle. Ainsi, devant une situation, l'induction fournirait tout d'abord un modèle général par défaut – toujours d'après Holland. Si celui-ci ne fonctionne pas, alors des sous-modèles sont proposés pour des cas particuliers. S'il n'y a toujours aucun modèle qui soit opérationnel, alors s'engage la résolution de problèmes. Et c'est ici qu'entre en jeu l'analogie, cette fois-ci non pas comme support de communication mais comme processus cognitif. Nous ne décrivons pas tout le détail des explications sur la source et la cible dans la production ou l'utilisation d'une analogie. Dans le contexte de l'étude des maquettes il nous importe de mentionner que l'analogie peut être un moyen privilégié pour la construction de modèles concrets ou de modèles conceptuels.

La maquette analogique peut constituer une forme de représentation intermédiaire entre le réel perçu et le modèle conçu. Elle sert d'interface entre ces deux aspects, et la mise en évidence des correspondances entre la maquette et l'objet étudié constitue une première forme d'abstraction, antérieure à la généralisation et à la décontextualisation des relations amenant à induire le modèle formel. Les règles illustrées par l'intermédiaire de l'analogie continuent de se modifier au fur et à mesure que de nouveaux exemples peuvent leur être associés, amenant ainsi de nouvelles inductions. On peut par exemple faire une analogie entre un avant-bras qui actionne un vilebrequin et une bielle dans un moteur à explosion. Bien que ces deux "objets" n'offrent pas de grandes ressemblances physiques, avec l'idée de les mettre en parallèle se dessine une relation analogique qui permettra d'utiliser presque indifféremment le langage d'un objet pour décrire l'autre. Ainsi, la ressemblance ne se situe pas entre les objets eux-mêmes ou entre le réel et le modèle, mais plutôt dans leurs descriptions. *"Bien loin que la similitude fonde l'analogie, elle en résulte. C'est en cela qu'un rapprochement peut être novateur et éclairant : sa réussite n'est pas une représentation, mais un discours possible."* (Stengers & Schlan-ger, 1991, p. 86)

ET LA DIDACTIQUE ?

Pour qualifier la maquette de didactique elle doit prendre en considération des relations entre le maître, l'élève et le savoir. Les notions exposées précédemment, même si elles ne relèvent pas toutes à strictement parler de la didactique permettent d'établir ces relations. Bien qu'une analyse plus poussée des propriétés didactiques des maquettes reste à faire, nous pensons que les principes qui se dégagent de l'étude des différents niveaux de l'analogie viennent enrichir les théories didactiques. Ces principes s'intègrent bien par exemple dans le cadre de divers travaux sur la modélisation en mathématiques et en sciences (dont Chevallard, 1989a, 1989b; Johsua & Dupin, 1988; Lemeignan & Weil-Barais, 1988; René de Cotret, 1993). L'usage de matériel analogique fournit des instruments nouveaux favorisant l'élaboration de modèles, et les phases de la modélisation, qui passent par l'induction, rejoignent celles de la pensée (ou de la résolution) analogique.

La fabrication ou l'utilisation de maquettes par les élèves eux-mêmes s'avère une activité utile pour la mise en lumière des conceptions spontanées qu'ils entretiennent en sciences. Lorsque ce sont les enseignants qui produisent les maquettes, ce sont en plus leurs conceptions des étudiants qui sont révélées, ce qui engage des échanges fructueux pour leur formation.

La création de maquettes entraîne un questionnement de la part de l'enseignant qui l'oblige à expliciter ses conceptions sur la science, sur son développement, son enseignement et sur l'apprentissage des élèves, de même qu'à revoir la cohérence entre ces aspects. Les maquettes constituent ainsi un outil privilégié pour la formation des maîtres. Elles permettent de plus d'inclure dans l'enseignement des sciences un volet de "réflexion analogique" qui constitue selon Schlanger (Stengers & Schlanger, 1991) une voie d'accès à la création.

DU CÔTÉ DES RÉALISATIONS

Comme nous l'avons déjà signalé, un cours de deuxième cycle a été offert au département de didactique de l'université de Montréal, portant directement sur la production de maquettes didactiques pour l'enseignement des sciences et des mathématiques. Les étudiants furent impliqués dans une démarche d'identification des besoins d'apprentissage et de conception novatrice d'une maquette. La commande fut de prime abord perçue comme une tâche trop ambitieuse. Les participants ont toutefois accepté quand même le risque de l'opération, l'importance étant placée beaucoup plus sur les questions que permet de poser la démarche, plutôt que sur la seule réalisation d'un produit. Malgré les difficultés, les vingt enseignants inscrits au cours ont tous conçu, réalisé et présenté une maquette. Certains les ont même expérimentées. Quelques-unes de ces maquettes sont à notre avis de réelles innovations. Il est très difficile dans le cadre de cet article de les décrire correctement mais nous tenons tout de même à en signaler trois.

En météorologie : le Démofronts (maquette de Robert Ripeau)

Cette maquette a été créée afin d'aider les élèves de deuxième secondaire (13-14 ans) à comprendre comment une carte météorologique représente les conditions météo réelles régnant sur le terrain. Il s'agit en quelque sorte d'une carte météorologique en trois dimensions incluant des éléments comme les nuages, les masses d'air (rendues visibles) en plus d'un baromètre, d'un thermomètre et d'un hygromètre actionnés mécaniquement en fonction des conditions météorologiques étudiées. Le Démofronts permet de recueillir des données pour quatre cas de passages de fronts froids, quatre cas de fronts chauds et quelques autres situations.

En électricité : l'Électrobulle (maquette de Martin Beaulieu)

L'analogie entre l'hydraulique et l'électrique est bien connue, tant pour ses qualités que pour ses limites. L'Électrobulle utilise aussi des liquides pour favoriser une meilleure conception de l'électricité, mais cette fois en fonction de leur densité. Au bas d'une ampoule de décantation remplie d'huile on fixe un boyau en Y relié à deux tubes de verre, l'un contenant de l'eau et l'autre de l'eau salée. Lorsque l'huile descend de l'ampoule, des gouttelettes se forment en montant dans les tubes de verre et leurs progressions diffèrent en fonction de la densité des liquides dans les tubes. Cette maquette crée une analogie pour la relation $G(s) = I(a) / U(v)$ entre le courant électrique I (ampère), la tension électrique U (volt), la conductance G (siemens) et, respectivement, le débit des gouttes d'huile, la hauteur de l'ampoule d'huile et ce qu'on a appelé la "densitude".

En mathématiques : la Cerclo-sphère (maquette de Martine Filiatrault)

Le but de la Cerclo-sphère est de montrer que l'aire d'une sphère est égale à quatre fois l'aire du cercle de même rayon. Pour ce faire, la sphère est recouverte avec quatre bandelettes de feutrine de même longueur, chacune de ces bandelettes pouvant recouvrir exactement un cercle de même diamètre que le sphère. Le principe est simple et, bien qu'aucune démonstration ne soit faite, cette "monstration" a l'avantage de frapper l'imagination.

Il est probable que de telles maquettes existent déjà, mais leur caractère novateur vient, entre autres, du regard que nous posons sur elles et de l'utilisation que nous en faisons. Dans un avenir rapproché, il faudra aller plus avant dans leur analyse, leur catégorisation et l'étude de leurs influences sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences et des mathématiques. Cela nous paraît essentiel à une utilisation éclairée des maquettes.

En conclusion, il faut anticiper pour bientôt "Le Salon de la Maquette Didactique". Plusieurs professeurs ont des réalisations qu'il faut exposer et nous espérons voir des groupes s'y intéresser.

BIBLIOGRAPHIE

- BRETON P. (1992). *L'utopie de la communication*. Paris, La Découverte.
- CHEVALLARD Y. (1989a). Le passage de l'arithmétique à l'algèbre dans l'enseignement des mathématiques au collège - Deuxième partie : Perspectives curriculaire : la notion de modélisation. *Petit x*, n° 9, pp. 43-75.
- CHEVALLARD Y. (1989b). *Arithmétique, Algèbre, Modélisation. Étapes d'une recherche*. Publication de l'IREM d'Aix-Marseille, n°16.
- DEWDNEY A.K. (1984). On the spaghetti computer and other analog gadgets for problem solving. *Scientific American*, vol. 250, n° 6, pp. 19-27.
- DEWDNEY A.K. (1985). Analog gadgets that solve a diversity of problems and raise an array of questions. *Scientific American*, vol. 252, n° 6, pp. 18-29.
- HOLLAND J.H., HOLYOAK K.J., NISBETT R.E. & THAGARD P.R. (1986). *Induction. Processes of Inference, Learning, and Discovery*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1988). La gestion des contradictions dans des processus de modélisation en physique, en situation de classe. In G. Vergnaud, G. Brousseau et M. Hulin. (Eds), *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, Actes du colloque de Sèvres*. Grenoble, La Pensée Sauvage, pp. 185-199.
- KAPANDJI I.A. (1975). *Physiologie Articulatoire*, tome 3. Paris, Maloine.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1988). Étude de quelques activités de modélisation. In G. Vergnaud, G. Brousseau et M. Hulin. (Eds), *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, Actes du colloque de Sèvres*. Grenoble, La Pensée Sauvage, pp. 229-244.
- STENGERS I. & SCHLANGER J. (1991). *Les concepts scientifiques*. Paris, Gallimard.
- RENÉ DE COTRET S. (1993). Modéliser pour mieux comprendre la notion de proportions en mathématiques. In *Résumé des communications, Premier congrès Actualité de la Recherche en Éducation et Formation*. AECSE, Paris, pp. 130-131.
- WATZLAWICK P., HELMICK J., BEAVIN J. & JACKSON D.D. (1972). *Une logique de la communication*. Paris, Seuil.
- WIENER N. (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Paris, Hermann et Cie.
- WIENER N. (1952). *Cybernétique et société*. Paris, Deux-Rives.



Recherche en didactique et nouveaux programmes d'enseignement : convergences

Exemple du programme de physique
de quatrième (grade 8) 1993, en France

Laurence VIENNOT

Université Paris 7
Laboratoire de Didactique de la Physique
dans l'Enseignement Supérieur
Tour 24 - 2 Place Jussieu
75251 Paris cedex 05 case 7021

Résumé

Les choix didactiques manifestés par les textes des nouveaux programmes français rejoignent, par certains aspects, des points de vue et résultats de recherche didactique.

On discute ici, essentiellement à propos du programme d'optique de quatrième, les objectifs, le rôle assigné à l'expérience, et la progression conceptuelle. Celle-ci traduit une prise en compte simultanée de l'analyse du contenu conceptuel et des résultats de recherche sur les raisonnements communs.

Mots clés : *curriculum, expérience, raisonnement commun, lumière, vision.*

Abstract

Recent texts defining and accompanying new french syllabuses meet some viewpoints and results of research in science education. The example of optics at grade 8 is discussed along the following lines : pedagogical goals, role ascribed to practical activities, concepts, and common reasonings.

Key words: *curriculum, practical work, common reasoning, light, vision.*

INTRODUCTION

L'enseignement secondaire français est en chantier. En 1990, des groupes techniques disciplinaires (GTD) ont été nommés pour cinq ans avec mission de rédiger des propositions de programmes. Leur création s'inscrivait dans un large mouvement dont la figure de proue était le Conseil National des Programmes (CNP). Sorte de comité des sages, celui-ci était chargé de faire des propositions générales sur l'orientation et l'organisation de l'ensemble du dispositif scolaire. Dans le cas des sciences physiques et chimiques (deux GTD distincts mais en interaction), les premières propositions de programmes (classes de quatrième - grade 8, seconde - grade 10 et première - grade 11) ont été entérinées sans modifications par le Conseil Supérieur de l'Éducation. Une phase importante de consultation et d'adaptation avait précédé la soumission définitive, grâce à une publication anticipée au *Bulletin de l'Union des Physiciens* (1992).

Il n'y a pas eu, pour cette réforme, de recherches didactiques étroitement liées à l'institution de réforme, comme l'avaient été celles du LIRESPT pour la commission Lagarrigue. C'est plutôt l'acquis de quinze ans de travail en France et à l'étranger dont ont pu témoigner les chercheurs en didactique engagés individuellement dans les GTD.

Que peut-on dire du résultat, en matière de convergence avec la recherche en didactique ?

Il faut tout de suite préciser que la rubrique "recherche didactique" dans cette discussion, ne se réduit pas à celle des résultats de recherche. Il y a des points de vue consensuels, en didactique, qui ne sont pas à proprement parler des "résultats", et sur lesquels un regard critique sera toujours particulièrement utile. Les décisions sur les objectifs de l'enseignement, pour commencer, sont politiques, et non dictées par la recherche. Celle-ci donne certes des éclairages d'importance cruciale, en termes d'accessibilité, de conditions déterminantes, de cheminements préférables. Mais là comme ailleurs, l'expertise se doit de reconnaître ses limites. Par ailleurs, parler de "convergence", c'est aussi refuser d'attribuer certains aspects des propositions aux seuls didacticiens présents dans les groupes.

Le format des propositions faites par les GTD traduit, à lui seul, la reconnaissance de ce que, pour orienter de manière significative un cycle d'enseignement dans une discipline donnée, il ne suffit pas d'aligner des lignes de programme. Sous l'impulsion du CNP, chaque année d'enseignement se voit assigner un préambule définissant les "*principes directeurs*" et les "*objectifs généraux*". Chaque item se trouve accompagné, dans le programme même, de "*compétences attendues*". Les groupes de physique et de chimie ont, toujours dans le programme même, indiqué un menu "*d'activités-suppôts*" (physique), "*d'activités de documentation ou d'expériences...*" (chimie). Comme auparavant, des commentaires sont publiés. Mais en outre, des textes d'accompagnement ont été diffusés auprès des Inspecteurs Pédagogiques Régionaux et des responsables de formations d'enseignants. Ils comportent des mises au point sur des questions sensibles, des exemples de progression, de contrôles, des listes de matériels. Les éditeurs d'ouvrages scolaires ont été invités à discuter avec les membres des groupes de physique et de chimie des intentions qui animaient leurs propositions, et des moyens susceptibles de servir leurs choix. Bref, tout un dispositif.

Venons-en à l'exemple de la classe de quatrième (B.O. n° 31, 1992) qui se trouve, depuis la décision prise en 1990 par le ministre Lionel Jospin, la première dans le cursus scolaire où la physique et la chimie sont des disciplines identifiées. Certains aspects seulement peuvent être abordés ici, à grands traits : les objectifs, le rôle de l'expérience, la progression conceptuelle, la place des raisonnements communs des élèves dans les décisions prises.

1. DES OBJECTIFS RÉPARTIS

On trouve parmi les principes directeurs pour l'ensemble de l'enseignement secondaire, des intentions déjà affirmées par le passé : le désir de promouvoir chez les élèves rigueur, méthode scientifique, curiosité, ouverture sur les techniques, ancrage des acquis sur l'environnement quotidien et les technologies modernes, représentation cohérente de l'univers, à travers notamment des aperçus transversaux d'une discipline à l'autre. La place essentielle des activités expérimentales est réaffirmée. La seule chose qui peut surprendre dans ces intentions est leur accumulation : peut-on vraiment poursuivre tous ces lièvres à la fois ? Les textes déjà parus répartissent les ambitions.

Le préambule pour la quatrième met l'accent sur la curiosité, l'acquisition de savoir-faire techniques, le goût de l'analyse rigoureuse des phénomènes, l'aptitude à trier ce que l'on peut expliquer partiellement de ce qui "échappe totalement". On y trouve plus loin l'idée "*d'expérimentation raisonnée*", de "*raisonnements rigoureux fondés sur quelques règles simples*", de "*validité non fluctuante des lois physiques*", et (parlant des élèves, toujours) de

“début de confiance dans leur propre capacité à faire des prédictions et à mettre celles-ci à l'épreuve”. Savoir-faire techniques et composantes conceptuelles s'y présentent donc conjointement, ce second aspect étant fortement organisé autour de l'idée que ce n'est pas n'importe quoi qui arrive : il y a des lois (*“quelques règles simples”*). On n'y échappe pas, et en retour celles-ci permettent de faire des prévisions, de *“raisonner”* les expérimentations, de repérer des phénomènes que l'on est capable *“d'expliquer”*, et d'y trouver un encouragement à ne pas dire n'importe quoi. En revanche, à lire ce texte, l'heure n'est pas aux limites de validité des modèles. Il y a donc bien des choix, et des accents, au moins dans les intentions.

Ceux-ci se répartissent un peu différemment sur les deux parties du programme.

L'optique est particulièrement organisée autour de l'idée de cohérence conceptuelle. Les *“règles”* en question y sont au nombre de deux :

“Pour être vu, un objet doit envoyer de la lumière dans l'œil.”

“Sauf accident (obstacle, changement de milieu...), la lumière se propage en ligne droite.”

Remarquons qu'elles s'expriment en langue naturelle. Elles suffisent, du point de vue de la logique conceptuelle, à introduire tous les points abordés ensuite en optique. Le parcours est organisé dans un jeu de taquets où chaque concept introduit est tour à tour cible puis appui pour l'apprentissage. On arrive comme cela, en principe, jusqu'à voir (en vision directe d'abord) et localiser des images réelles formées par des lentilles, et même à l'idée qu'un cache sur la lentille affecte seulement la luminosité de l'image. Pour résumer, le rapport *nombre de phénomènes / nombre de “règles”* est particulièrement élevé, sans rupture de la chaîne de construction conceptuelle.

Les savoir-faire techniques sont peu développés sur ce thème, tout juste parle-t-on des qualités de soin dans la réalisation des manipulations (certaines sont d'ailleurs délicates).

L'électricité équilibre davantage les aspects conceptuels et opératoires (au sens des techniques de schématisation, et des procédures de mesure). Moins linéaire dans l'architecture conceptuelle, elle est organisée en deux blocs concernant l'un les décharges et l'autre les régimes quasi-stationnaires. Ce second volet développe l'aspect systémique du circuit (par exemple : l'ordre des éléments d'un circuit série n'importe pas, la tension du générateur se répartit entre les dipôles en série) et, toujours, la permanence des lois : ...*“en rajoutant une lampe en série, les valeurs des grandeurs changent, mais les lois demeurent.”*

C'est aussi ce second volet qui propose, au départ, une approche opérationnelle des grandeurs intensité et tension : des grandeurs que l'on mesure de telle manière, avec tel appareil, en telle unité. Ce sont alors les verbes

“réaliser”, “mesurer”, “identifier” qui marquent l'énoncé des “compétences attendues”.

En terme d'objectifs, on ne peut donc pas dire qu'un tel programme soit monolithique. Il s'y développe des zones où s'accroissent tour à tour diverses intentions des rédacteurs. Mais globalement, pour ce niveau, on peut noter une réelle ambition sur le plan conceptuel. Non pas tant par l'accumulation d'items que par la visée épistémologique, puisqu'on y installe l'idée de loi, et par les accents mis sur les points sensibles.

Nous commenterons plus loin cette “sensibilité” à propos des difficultés des élèves. Quant à l'idée qu'il y a des lois à prendre au sérieux et non seulement des phénomènes épars, elle n'est peut-être pas directement l'objet de recherches didactiques, du moins dans son expression générale. Mais son intérêt comme objectif d'enseignement imprègne les constats des chercheurs sur les conceptions et raisonnements communs, et fonde à peu près toutes leurs propositions d'intervention pédagogique. Sur quoi peut-on bien s'appuyer, sinon sur l'exigence de cohérence, lorsqu'on souhaite modifier les vues les plus solidement enracinées chez les apprenants ? On sait bien que l'expérience à elle seule n'y suffit pas.

2. LE RÔLE DE L'EXPÉRIENCE

L'expérience dans l'enseignement de la physique est exaltée, avec constance, comme passage indispensable vers une connaissance non pervertie de ce domaine. L'apprentissage de la “démarche expérimentale” fait l'objet de vœux unanimes. Plus difficile est de savoir quel rôle on attribue aux expériences proposées. Que disent les textes officiels ? Explicitement, peu de choses. Les principes directeurs mentionnent l'idée que si les élèves peuvent manipuler eux-mêmes, ils seront “plus concernés”, et donc “plus responsables de la construction de leur propre savoir”, mais au-delà de cette référence au constructivisme, on n'en sait guère plus à ce niveau. Le préambule de la quatrième (voir plus haut les intentions affichées) laisse voir des intentions plus précises : associer expérience et raisonnement, phénomènes et vision unifiée. Mais le plus éclairant sur les intentions des rédacteurs, c'est une mise en rapport de l'organisation du programme et des activités supports proposées.

Limitons-nous à l'optique. Les manipulations y ont un rôle de charnière. Ce ne sont pas des expériences que l'élève contemple, ni même où il découvre les lois. Il s'agit plutôt d'interpréter les phénomènes à partir de ce que l'on sait déjà et d'une loi nouvelle énoncée, et, de manière répétée, de prévoir, puis observer, puis discuter, dans une visée de mise en cohérence. Ces expériences ne sont pas là pour illustrer une loi, mais pour montrer qu'on aurait tort de ne pas en tirer les conséquences.

Par exemple, une fois introduites la diffusion par un écran, la propagation rectiligne et les ombres, on propose une mise en cohérence de deux données : l'éclairement d'un écran où l'on fait des ombres, d'une part, et ce que voit un observateur qui met son œil derrière un petit trou percé dans l'écran, d'autre part. Si l'œil est derrière la partie la plus sombre (l'ombre), l'observateur ne voit pas la source de lumière associée ; depuis la zone de pénombre, il voit une partie de la source ; depuis la zone éclairée, il la voit entièrement (Kaminski, 1991).

La référence au constructivisme trouve ici l'écho d'une activité conceptuelle qui dépasse de beaucoup l'activité manipulative ou même la contemplation inductive.

3. PROGRESSION CONCEPTUELLE ET ANALYSE DE CONTENU

Globalement, les thèmes proposés ne se distinguent pas par leur nouveauté :

- sources, diffusion et couleur,
- propagation rectiligne de la lumière et ombres,
- œil et perception,
- images (réelles) formées par des lentilles convergentes.

Mais deux démarches entrelacées en modifient l'éclairage. Celle d'une revisitation des contenus, qui redistribue la hiérarchie des concepts et les organise sur une ligne de relais successifs. Et celle d'une analyse des raisonnements communs des élèves et des enseignants.

La première redonne à l'œil son rôle principal. C'est l'instrument privilégié. D'où l'importance des expériences de visées à travers les trous d'un écran, décrites plus haut : il s'agit d'intégrer véritablement lumière et vision d'une manière qui, au-delà du seul registre déclaratif, permette des prévisions non triviales. De même, l'œil est l'instrument essentiel de construction de la position d'une image réelle, sans écrans, par visées directes. Les aspects proprement perceptifs (souvent appelés "illusions d'optique") associés à l'ensemble rétine-cerveau, hors champ de l'optique géométrique, sont également abordés.

Autre point relevant d'une analyse de contenu : une prise de distance par rapport aux "rayons" visualisés par un support matériel (Kaminski, 1989). Outil classique d'introduction de la propagation rectiligne de la lumière, ces faisceaux minces font ici l'objet d'une analyse explicite et différée après le travail sur la diffusion et les ombres. On peut espérer, à la lecture des textes officiels, voir un peu moins intervenir dans l'enseignement des "*fontaines qui sont lumineuses parce que la lumière ne peut pas en sortir*" et autres "*rayons visualisés*" par des feuilles de papier qui ne contiennent pas la source.

La suppression de la chambre noire comme dispositif introductif relève du même type d'analyse. Sa simplicité de réalisation cache en effet une réelle complexité conceptuelle (Fawaz & Viennot, 1986 ; Kaminski, 1991), et ceci pour un bénéfice discutable. En effet, ce que l'on voit au fond d'une chambre noire n'est pas une image optique localisée, au sens de Kepler, c'est-à-dire un ensemble de "points" de convergence des rayons issus de chaque "point" objet correspondant, et visible en vision directe.

4. RAISONNEMENTS COMMUNS ET CHOIX EFFECTUÉS

L'analyse des raisonnements communs fait remarquablement écho à celle de la progression conceptuelle proposée. Les recherches ont bien montré que le rôle de l'œil dans la vision est très incomplètement pris en compte dans les raisonnements d'adolescents (Guesne, 1984 ; Tiberghien, 1983 ; Fawaz & Viennot, 1986 ; Goldberg & Mac Dermott, 1987), ou même d'adultes, y compris des enseignants (Fawaz & Viennot, 1986 ; Kaminski, 1989, 1991), ou de techniciens supérieurs d'optique ou d'arts plastiques en formation (Kaminski, 1989 ; Chauvet, 1990). D'où le besoin d'un travail explicite et contraignant sur ce point.

Mais si ce travail d'intégration de l'œil dans la chaîne de la vision est prévu, il n'est pourtant pas développé d'emblée dans la progression conceptuelle. Sa difficulté est prise en compte par un traitement important, mais différé.

Pour le début de la progression, un autre aspect des raisonnements communs intervient, cette fois comme point d'appui et non comme obstacle. C'est le suivant : lorsqu'une plage d'écran est "lumineuse", "brillante" ou "éclairée", chacun est convaincu que de la lumière y parvient. Cette idée correcte est exploitée pour introduire la diffusion par un objet. Plutôt que d'affirmer : *"puisque'on voit cette plage éclairée, c'est qu'elle envoie de la lumière dans l'œil"*, on se sert d'un écran secondaire, au voisinage de la plage éclairée, pour manifester la lumière diffusée. Pour rendre efficace cette mise en évidence, on utilise comme premier écran diffusant un papier de couleur et on l'éclaire en lumière blanche. Le second écran, "normalement" blanc (en lumière blanche), se colore de la même teinte. Ceci est très convaincant quant à l'existence de lumière diffusée. Tout un travail sur les différents types d'écrans est alors accessible, avec l'attrait de la couleur comme support. Ceci introduit, au passage, l'enseignement de la couleur d'une manière fort pertinente (Chauvet, 1993).

Les raisonnements communs sont donc pris en compte tour à tour comme appuis ou comme obstacles, cibles explicites de l'enseignement. Il existe enfin des raisonnements communs que l'on espère au moins ne pas renforcer par l'enseignement, telle l'idée qu'une image voyage comme un tout

constitué et arrive sur l'écran même sans lentille, éventuellement écornée par un diaphragme posé sur la lentille s'il y en a une (Fawaz & Viennot, 1986 ; Feher & Rice, 1987 ; Goldberg & Mac Dermott, 1987 ; Kaminski, 1989). L'approche adoptée ici et les situations traitées devraient limiter cette vision des choses chez les élèves (Kaminski, 1991).

On peut résumer la prise en compte de ces raisonnements communs dans cette partie de programme comme suit :

Principaux concepts introduits	Aspects de raisonnements communs	Rôle de ces aspects dans la progression
Sources, diffusion, couleur	Si une plage d'un écran est "lumineuse", c'est qu'elle reçoit de la lumière	appui
Propagation rectiligne, ombres	idem (plus autres non développés ici)	appui (...)
Pour qu'un objet soit vu, il faut qu'il envoie de la lumière dans l'œil	Négation implicite de cette nécessité La lumière est visible de profil	obstacle et cible, obstacle non renforcé par usage précoce de rayons matérialisés, traité avec l'appui des plages d'écran
Effets perceptifs	Sous-estimation du rôle de l'ensemble œil-cerveau dans la vision normale	obstacle et cible, en appui au traitement du précédent
Image réelle dans les lentilles convergentes : comment la voir, en construire la position	Raisonnements comme si l'image "voyageait" d'un seul bloc	obstacle non renforcé, traité avec l'appui des acquis sur le rôle de l'œil

CONCLUSION

Le texte du programme d'optique de quatrième et ceux qui l'accompagnent illustrent d'indéniables convergences entre les points de vue des rédacteurs et ceux qui font l'objet de consensus chez les didacticiens. Les résultats de recherche y sont pris en compte. Les textes officiels portent la marque de deux démarches aussi imbriquées qu'elles le sont dans la recherche didactique : analyse de contenu conceptuel et attention aux raisonnements communs. Les intentions des rédacteurs et la réflexion des didacticiens se rejoignent aussi sur le rôle assigné aux expériences, et, plus largement, sur l'idée de concilier une forte visée conceptuelle et la manipulation d'un formalisme mathématique au départ très restreint.

S'agit-il d'un épiphénomène, fruit d'une série d'opportunités ?

C'est peut-être en quatrième que le fil didactique est le plus visible dans le tissu des textes : il se trouve que les thèmes de l'optique et de l'électricité élémentaires sont parmi les plus étudiés en recherche. Mais on retrouve aussi la trace d'études didactiques à propos des forces, de l'énergie, des signes + et -, en première notamment, ou encore des fonctions de plusieurs variables, dès la troisième. Le principe d'une prise en compte des points de vue et résultats de la didactique semble bien avoir été retenu dans l'ensemble du travail, au moins comme termes d'une négociation.

Cela dit, une constatation s'impose : bien peu d'éléments sont actuellement disponibles quant aux résultats, en temps et situation réels, avec les enseignants tels qu'ils sont, des aspects les plus novateurs des propositions officielles. Un grand travail de suivi, d'évaluation et d'ajustement progressif est à mettre en route. Souhaitons qu'il puisse se développer dans la durée, car nul n'est assez naïf pour croire que la solution idéale va surgir d'emblée, aussi approfondies qu'aient été les recherches et réflexions préalables.

Note

Laurence Viennot est membre du GTD (groupe technique disciplinaire) de Physique.

BIBLIOGRAPHIE

CHAUVET F. (1990). *Lumière et vision vues par des étudiants d'arts appliqués*. Mémoire de tutorat non publié, DEA de didactique, Université Paris 7 (LDPES).

CHAUVET F. (1993). Conception et premiers essais d'une séquence sur la couleur. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 750, pp. 1-28.

FAWAZ A. & VIENNOT L. (1986). Image optique et vision. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 686, pp. 1125-1146.

FEHER E. & RICE K. (1987). A comparison of teacher-students conceptions in optics. In *Proceedings of the Second International Seminar : Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, vol. II. Cornell University, pp. 108-117.

GOLDBERG F.M. & MAC DERMOTT L. (1987). An investigation of students' understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, vol. 55, n° 2, pp. 108-119.

GRUPE TECHNIQUE DISCIPLINAIRE DE PHYSIQUE (1992). *Document d'accompagnement pour la classe de quatrième*. Paris, Ministère de l'Éducation nationale et de la Culture.

GROUPES TECHNIQUES DISCIPLINAIRES DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE (1992). Avant-projets des programmes de physique et chimie. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 740, supplément pp. 1-52.

GUESNE E. (1984). Children's ideas about light / Les conceptions des enfants sur la lumière. In *New Trends in Physics Teaching*, Vol IV. Paris, UNESCO, pp. 179-192.

KAMINSKI W. (1989). Conceptions des enfants et des autres sur la lumière. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 973-996.

KAMINSKI W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*. Thèse de doctorat non publiée, Université Paris 7 (LDPES).

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). Classes de quatrième et quatrième technologique. *Bulletin Officiel*, n° 31, pp. 2086-2112.

TIBERGHIE A. (1983). Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens de la notion de lumière chez les élèves de 10 à 16 ans. In *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international, La Londe les Maures*. Paris, CNRS, pp. 125-136.

Des programmes de chimie à leur mise en œuvre

Monique GOFFARD

Membre du Groupe Technique Disciplinaire Chimie

Université Paris 7

LIREST GDSEP7

Case 7086, 2 Place Jussieu

75251 Paris cedex 05.

Résumé

Depuis la rentrée scolaire 1993-1994, au collège et au lycée, sont entrés en vigueur de nouveaux programmes de chimie. Cet article présente quelques-unes des raisons qui ont motivé l'écriture de ceux-ci autour de thèmes liés à des problèmes de la vie quotidienne. Si les programmes sont novateurs, l'innovation est-elle obligatoirement au bout du chemin ? Pas sûr...

Mots clés : enseignement secondaire, nouveaux programmes, chimie, thèmes de la vie quotidienne.

Abstract

Since the start of the school year 1993-1994, in secondary schools, new syllabuses in chemistry have been coming into effect. This article sets out the grounds on which these syllabuses have been built, around themes related to everyday life problems. If these syllabuses are breaking new ground, will this path lead inevitably to innovatory teaching ? It's not sure.

Key words : secondary school, new syllabuses, chemistry, everyday life themes, teaching.

Construire de nouveaux programmes dans une discipline conduit à s'interroger sur des problèmes fondamentaux, par exemple en chimie.

Quelles sont, actuellement, les connaissances de base que devrait posséder tout citoyen qui a suivi des cours d'enseignement secondaire et qui poursuivra ou non un cursus scientifique ou des études en chimie ?

Comment former en même temps des élèves ayant des projets différents : ceux qui n'étudieront la chimie que jusqu'en classe de troisième ou seconde, ceux qui poursuivront leurs études en sciences et ceux, les moins nombreux, qui les poursuivront en chimie ? Les connaissances que doivent acquérir dans cette discipline le citoyen moyen et le futur chimiste sont différentes et ne sont peut-être pas de même nature ; comment satisfaire des demandes ou des besoins aussi divers ? Cela est-il même possible ?

Quelle place accorder aux modèles dans l'enseignement de la chimie ? Doit-on considérer la chimie comme une science qui a élaboré ses modèles une fois pour toutes, ceux-ci étant alors à acquérir par les élèves coûte que coûte, ou plutôt comme une science qui se pratique, évolue, qui possède ses démarches et ses techniques propres ? Comment initier les élèves à ces démarches et ces techniques, alors que les recherches en didactique sur ces points sont balbutiantes et que les exemples des pays étrangers relèvent de traditions culturelles différentes des nôtres ? Quelle image souhaitons-nous donner aux élèves de la chimie comme activité scientifique ?

Comment faire percevoir aux élèves qu'un très grand nombre de matériaux, de produits de consommation courante sont en relation avec la chimie ? Comment faire prendre conscience que cette dernière contribue à résoudre des problèmes de nutrition, de santé, d'environnement par exemple ? Comment faire admettre qu'un corps pur possède les mêmes propriétés qu'il soit naturel ou synthétique ? Comment s'opposer au sens commun qui veut qu'un produit synthétique soit dévalorisé par rapport à un produit naturel ? Comment enfin développer l'idée que les industries chimiques constituent un secteur important pour l'économie ? En d'autres termes, faire comprendre que la chimie qui s'apprend à l'école n'est pas séparée du monde dans lequel nous vivons ?

Dire que nous avons répondu à ces questions serait illusoire et prétentieux ; dire que nous avons essayé d'apporter des éléments de réponses à certaines d'entre elles serait probablement plus juste ; dire que l'on aurait pu faire autrement et mieux est évident.

1. LES ÉLÉMENTS DE RÉPONSES QUI ONT MOTIVÉ LES CHOIX

1.1. L'approche thématique

Il nous a paru important que tout citoyen reçoive dans sa formation des notions de base sur la réaction chimique et des modèles simplifiés de l'atome, la molécule, les ions. Mais il nous a semblé tout aussi important que ces notions soient enseignées dans un contexte social, historique ou économique. C'est pourquoi nous avons distingué les objectifs de l'enseignement des trois premières années (élèves de 13 à 16 ans) qui s'adresse à tous les élèves, de ceux des deux suivantes (17-18 ans) au cours desquelles les élèves commencent à se spécialiser.

L'approche thématique que nous avons adoptée permet de moduler l'accent mis sur les aspects conceptuels ou sur ceux liés à l'environnement. Ainsi, par exemple en classe de quatrième, le thème porte sur *la chimie et l'alimentation : les eaux et les boissons* ; certains paragraphes sont consacrés à l'introduction de la notion de molécule ou d'atome, d'autres s'intitulent "*le goût et la couleur des boissons*". En classes de première et terminale scientifiques l'accent est mis, à travers les thèmes *chimie et énergie ou chimie, santé, hygiène et beauté*, sur des concepts comme ceux d'oxydoréduction, d'acidobasicité ou d'énergie de liaison. En série littéraire, les aspects conceptuels sont mineurs et l'approche est plutôt historique ou socio-économique et, en série "médico-sociale", les connaissances sont reliées à des problèmes de santé ou d'hygiène.

Le choix d'un thème a été opéré en fonction de différents critères :

- les concepts qu'il permettait d'introduire à un niveau d'enseignement donné,
- les activités qui pouvaient, à travers lui, être proposées aux élèves.
- l'intérêt qu'il pouvait susciter auprès des élèves.

Cela a entraîné des contraintes de différents ordres ; tout d'abord sur le choix des concepts. Par exemple, la classe de seconde est une classe d'orientation charnière ; on peut penser qu'à partir de là certains élèves entendront peu parler de chimie ; aux programmes de cette classe figuraient la définition du pH, l'équilibre d'autoprotolyse de l'eau et des développements sur les acides et les bases. Ces notions sont-elles fondamentales pour le citoyen ou celui-ci n'a-t-il besoin, à la limite, que de savoir que certaines substances sont acides ou basiques et qu'une échelle de pH permet cette classification ? Les thèmes choisis pour la classe de seconde ne permettaient pas de maintenir un apprentissage conséquent des notions d'acidobasicité ; celui-ci est reporté en classe de terminale. Certains thèmes n'ont pu être retenus faute d'activités expérimentales suffisantes. Par exemple, en classe littéraire, nous souhaitions aborder des questions liées à la chimie et la peinture ; trouver six séances de travaux pratiques n'a pas été jusque-là possible ; ce thème sera probablement abandonné. De même des choix ont dû être faits sur

les activités expérimentales proposées ; par exemple, le thème de la classe de quatrième porte sur les boissons, nous souhaitons que les élèves réalisent des chromatographies, celles-ci doivent porter sur des produits alimentaires et non sur des encres ou des peintures.

1.2. La chimie, activité scientifique à laquelle les élèves doivent être initiés

L'atome existe-t-il en tant que tel ou n'est-il qu'un modèle performant ? Posée ainsi, la question semble provocante, mais la lecture des anciens programmes et les recherches menées sur certains manuels (Andersson, 1990 ; Larcher et al., 1990) montrent qu'elle mérite d'être posée. Les modèles doivent-ils être donnés d'emblée comme une construction *a priori* ou peut-on initier les élèves à des démarches de modélisation ? Nous avons pensé que les modèles construits par les chimistes avaient, pour le moins, des visées explicatives et prédictives de phénomènes (Chomat et al., 1992) et qu'ils ne pouvaient, en situation d'enseignement, être introduits qu'après que des expériences auraient suscité des questions de la part des élèves.

Nous pensons qu'il est important de distinguer avec les élèves, entre faits d'observation et interprétation, entre description phénoménologique et description modélisante. L'ambiguïté qui était présente dans les anciens programmes ne devrait pas subsister. Aussi, les programmes élaborés pour les classes de quatrième à seconde incluse peuvent être lus de la manière suivante : une partie permettant à l'élève de manipuler, à l'enseignant de susciter un certain nombre de questions, est constituée d'un ensemble de faits d'expériences sur lesquels l'enseignant peut s'appuyer lors d'une phase de structuration, phase au cours de laquelle un modèle est introduit. Le modèle étant exposé, il peut être utilisé dans une phase de réinvestissement.

Cette démarche s'oppose aux pratiques habituelles des enseignants. Par exemple, en classe de seconde, on avait coutume de commencer le programme par l'étude du modèle de l'atome constitué d'un noyau et d'électrons répartis en couches, ce modèle servait d'introduction à la classification des éléments. Actuellement trois sous-thèmes sont au programme : *la chimie dans les champs et les jardins, les éléments chimiques du globe et de l'univers et pétroles et gaz naturels : les brûler ou les transformer ?* Cet ordre n'est pas anodin. Un des objectifs du premier sous-thème est de donner des références sur lesquelles le modèle pourra être introduit dans la partie suivante. Il n'y a pas là de concept nouveau abordé, mais les élèves et le professeur d'une même classe auront rencontré, à l'aide de ce sous-thème, un ensemble de substances, de réactions, d'éléments chimiques. Il sera alors possible d'aborder, avec cette base commune, dans un contexte déterminé, la classification des éléments.

Par ailleurs, dans le même ordre d'idées, des recherches en didactique de la chimie ont montré que certains concepts n'étaient pas faciles à construire par les élèves : la notion de corps pur notamment, et l'incompréhension qui en résulte, entraîne des difficultés lors de l'étude des réactions chimiques (Stavridou, 1990 ; Solomonidou, 1991) ; les élèves sont capables de résoudre des exercices de type algorithmique faisant intervenir des équations de réactions chimiques, mais éprouvent des difficultés à décrire, au niveau particulière, les transformations subies par les réactifs intervenant dans ces mêmes réactions (Lythcott, 1990 ; Nakhleh & Mitchell, 1993).

Il nous a semblé que les notions de corps pur et de réaction chimique sont importantes si l'on veut que les élèves, quels qu'ils soient, connaissent le domaine d'étude de la chimie ; si ces deux notions sont difficiles, il est probablement nécessaire de s'y attarder. Par exemple, il est prévu, dès la classe de quatrième, et au moins jusqu'en seconde, de faire construire par les élèves et le professeur la "carte d'identité" des corps purs rencontrés, c'est-à-dire de rassembler les propriétés physico-chimiques étudiées qui caractérisent le corps pur et la formule chimique qui le symbolise.

L'activité de l'élève nous a paru être une composante fondamentale de l'initiation aux démarches et techniques propres à la chimie.

Parmi toutes les activités qui concernent les élèves, nous avons attaché une attention particulière aux expériences de travaux pratiques et aux activités de documentation.

L'objectif des travaux pratiques est, bien sûr, de faire manipuler les élèves, de les familiariser avec un certain nombre de techniques. Celles-ci sont indissociables des démarches du chimiste. Comment parler de corps pur si on ne sait pas l'extraire et le caractériser ? Comment faire comprendre l'objet d'étude de la chimie si on ne fait pas fabriquer un produit par les élèves ? Dès la classe de quatrième, sont introduites des techniques simples de séparation ou d'analyse : filtration, décantation, et plus élaborées comme l'extraction, la distillation ou la chromatographie. Celles-ci sont reprises, développées, diversifiées tout au long du cursus scolaire. Les techniques de dosages divers sont introduites au lycée : dosages acidobasiques et d'oxydoréduction mais aussi spectrophotométriques ou de précipitation. De plus, à chaque niveau, autant que possible, il est prévu une préparation d'un produit : un arôme, un matériau plastique ou autre, une base utilisée en parfumerie ou un médicament...

Les activités de documentation visent un objectif particulier et nouveau de formation. Toute activité scientifique nécessite, à un moment ou un autre, un travail de documentation et nous avons pensé que seul un enseignant en sciences pouvait aider les élèves dans cet apprentissage, les professeurs de lettres n'ayant pas, en sciences, une formation suffisante.

1.3. La chimie : activité humaine insérée dans la vie socio-économique

Pour bon nombre de Français, l'image de la chimie est négative : chimie est synonyme de pollutions dangereuses. Comment le nier, il en va souvent ainsi pour les techniques en développement. Mais il faut conduire les Français à considérer les autres aspects : les progrès de la médecine ou de l'agriculture sont dus aux avancées des recherches en chimie. Et l'on peut penser que ces mêmes recherches permettront de trouver les parades aux pollutions.

Afin de travailler à donner une image de la chimie plus conforme à la réalité, nous avons voulu construire des programmes qui puissent donner aux élèves l'envie de mieux connaître cette science et, au-delà, d'en faire leur métier.

Dans cette perspective, une voie intéressante a été ouverte par l'organisation des Olympiades de la chimie et le succès qu'elles ont rencontré auprès des élèves. L'approche thématique, les sujets touchant aux questions de la vie quotidienne, l'accent mis sur les manipulations plus que sur les grandes explications théoriques, ont été parmi les causes de ce succès et nous avons cherché à tirer profit de cette expérience. Les programmes que nous avons élaborés offrent des prolongements aux Olympiades. Les représentants de l'Union des Industries Chimiques dans le groupe technique nous ont souvent aidés en nous alertant sur des produits ou des procédés abandonnés ou, au contraire, en voie de développement.

Les thèmes que nous avons choisis ancrent l'étude de la chimie dans notre environnement quotidien. Nous en rappellerons les titres :

- chimie et alimentation : les eaux et les boissons (quatrième) ;
- la compétition des matériaux (troisième) ;
- ressources naturelles, chimie, environnement (seconde) ;
- chimie et énergie (première scientifique) et chimie et lumière (option de sciences expérimentales) ;
- les molécules de l'hygiène et de la santé (première sciences médico-sociales).

Sont en préparation les programmes des premières littéraire et économique et sociale. Quatre thèmes seraient proposés au choix : deux portant sur la liaison chimie et santé et deux sur l'approche chimique des problèmes de l'environnement ; enfin en terminale scientifique seraient étudiées les molécules de l'hygiène, de la beauté et de la santé.

2. COMMENT LES PROGRAMMES S'APPLIQUERONT-ILS ?

Avec les programmes, nous avons conçu des documents d'accompagnement qui s'adressent aux enseignants. Ces documents donnent des exemples de mise en œuvre des programmes et proposent différentes activités expérimentales, documentaires ou d'évaluation. Ils permettent d'explicitier les intentions du groupe technique.

Ces programmes permettront-ils que l'enseignement de la chimie évolue dans le secondaire ? C'est possible mais non certain.

Les nouveaux programmes ouvrent des pistes pour une rénovation et donnent aux enseignants qui le souhaitent des possibilités d'agir autrement. En effet, nous avons conçu ces programmes en termes de questions, certaines apparaissent explicitement dans la rédaction, par exemple "*les eaux potables sont-elles pures ?*", d'autres sont implicites et l'enseignant peut trouver des occasions d'en développer. Une approche de type résolution de problèmes est donc possible. Une méthode pédagogique consisterait à faire émerger un problème à propos, par exemple, des boissons ou du choix d'un matériau ou de l'utilisation des matières premières, de chercher, avec les élèves, des éléments de réponses, en mettant en place des situations d'apprentissage diversifiées permettant activités expérimentales, documentation, structuration des connaissances.

Une telle approche est possible mais n'est pas la seule. Elle s'appuie sur une conception de l'apprentissage qui affirme que l'élève construit ses connaissances lui-même, et vise à mettre en pratique de telles idées. Elle suppose que l'enseignant mette en place des situations au cours desquelles l'élève est autonome, utilise ses possibilités et son savoir. Elle implique donc que l'élève puisse interpréter les phénomènes avec les connaissances qu'il possède. Les conceptions ou représentations construites par les élèves auront alors droit de cité dans la classe, ne seront pas considérées comme des erreurs et pourront être discutées, à charge pour l'enseignant de faire apparaître les éléments de validité ou les limites de ces représentations.

Une telle conception appelle information et formation des enseignants et peu d'actions sont prévues, en ce sens, en formation continue. De plus les réticences sont fortes, tout d'abord du côté institutionnel. Un exemple permet de mesurer les obstacles à vaincre. Dans le projet de programme de la classe de troisième, figurait explicitement la possibilité pour l'élève de "*concevoir et réaliser un protocole expérimental en respectant les consignes de sécurité*" ; lors de la concertation avec les organisations syndicales, celles de spécialistes et l'Inspection Générale, puis lors de l'adoption du texte définitif par les instances administratives, le terme "concevoir" a disparu. L'élève ne peut qu'exécuter, il n'a pas le pouvoir d'imaginer.

Les réticences sont fortes aussi de la part des enseignants. Un article récent de cette revue (Désautels et al., 1993), a indiqué le rôle de l'épistémo-

logie des enseignants dans leur pratique professionnelle. Les enseignants lisent les programmes avec ce qu'ils savent, ce qu'ils savent faire, ce qu'ils ont l'habitude de faire. Ainsi lors des journées d'information consacrées aux programmes de la classe de seconde, les questions le plus souvent posées ont été : pourquoi avoir mis la classification des éléments en deuxième partie et non au début ? Avons-nous le droit de commencer par la deuxième partie ? En somme, de faire comme avant ?

Il est effectivement possible de faire des programmes une lecture uniquement conceptuelle. On s'aperçoit alors que les concepts de la chimie qui étaient enseignés dans le secondaire sont toujours là, pratiquement aux mêmes niveaux d'enseignement. Il est possible de ne s'intéresser qu'aux modèles que construit le chimiste, de les faire apparaître comme figés ; il est possible d'enseigner la chimie en dehors de tout contexte.

Une autre dérive tout aussi grave est à mon avis possible. Commencer par des faits expérimentaux avant d'introduire les éléments de structuration, peut aboutir à faire dériver les modèles construits des expériences, à inscrire, en quelque sorte les modèles dans celles-ci, alors que l'enseignant ne peut interpréter l'expérience que parce qu'il possède déjà le modèle. Le danger est grand si nous n'y prenons pas garde. Là encore la formation des enseignants joue un rôle important.

CONCLUSION

Parmi les préoccupations des concepteurs, deux d'entre elles ont joué un rôle important : mieux articuler programmes de chimie et évolution du monde moderne et donner toute leur place aux activités des élèves.

En écrivant ces programmes, nous n'avons pas immédiatement mesuré l'ampleur des changements qu'ils entraînaient. Changement dans les conceptions de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences, changement dans la formation des enseignants qui, tout en restant disciplinaire, doit s'étendre à d'autres domaines comme ceux de l'histoire de leur discipline, de l'environnement ou des conceptions développées par les élèves.

Les réticences sont grandes et certains n'hésiteront pas à se cacher derrière le bouclier financier pour éviter une remise en question des contenus et des méthodes actuelles. Les rédacteurs des programmes ne peuvent qu'ouvrir des pistes de réflexion, la balle est à présent dans le camp des législateurs et des formateurs, formateurs d'enseignants, d'apprentis-enseignants, d'élèves.

BIBLIOGRAPHIE

ANDERSSON B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (âge 12-16). *Studies in Science Education*, n° 18, pp. 53-85.

CHOMAT A., LARCHER C. & MÉHEUT M. (1992). Modèle particulière et démarches de modélisation. In J.-L. Martinand (Dir.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP, pp. 119-169.

DÉSAUTELS J., LAROCHELLE M., GAGNÉ B. & RUEL F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique. *Didaskalia*, n° 1, pp. 49-67.

LARCHER C., CHOMAT A. & MÉHEUT M. (1990). A la recherche d'une stratégie pédagogique pour modéliser la matière dans ses différents états. *Revue Française de Pédagogie*, n° 93, pp. 51-62.

LYTHCOTT J. (1990). Problem solving and requisite knowledge of chemistry. *Journal of Chemical Education*, vol. 67, n° 3, pp. 248-252.

NAKHLEH M.B. & MITCHELL R.C. (1993). Concept learning versus problem solving. *Journal of Chemical Education*, vol. 70, n° 3, pp. 190-192.

SOLOMONIDOU C. (1991). *Comment se représenter les substances et leurs interactions ? Étude chez de jeunes élèves du collège*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

STAVRIDOU H. (1990). *Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire. Étude des conceptions des élèves*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

NOTES DE LECTURE

BÉRARD J.-M., RICHARD C., BARON G.-L., CASANOVA S., ELIE E., LE-PRINCE A. et LUCY J. (1993). *Utilisations de l'ordinateur dans l'enseignement secondaire.* Paris, CNDP-Hachette, Collection Ressources-formation, Série Enjeux du système éducatif, 144 p.

Cet ouvrage, issu d'une réflexion d'un groupe de pilotage (université, inspection et directions du Ministère de l'Éducation nationale, CNDP), est consacré à l'utilisation de l'ordinateur dans les différentes disciplines de l'enseignement secondaire (géographie, français, biologie, etc.) et vise à faire le point sur les perspectives actuelles.

Une première partie permet de replacer la situation présente dans l'évolution de l'informatique. Ainsi, le passage d'une discipline réservée aux spécialistes à une informatique accessible à tous, se retrouve-t-il dans l'enseignement secondaire : l'innovation s'est étendue à un vaste réseau d'enseignants, et le point de vue actuel est celui d'une intégration d'outils informatiques au sein même de l'enseignement des disciplines "classiques".

La seconde (et majeure) partie de l'ouvrage est constituée de courts textes écrits par des enseignants qui ont expérimenté ou mis au point diverses utilisations de l'ordinateur dans leurs classes. Ils fournissent des informations sur les conditions requises et indiquent comment les pratiques pédagogiques, les activités des élèves et les contenus abordés peuvent être repensés et modifiés en fonction des différentes possibilités : ordinateur outil "professionnel" de l'enseignant pour la production de documents pédagogiques ou la conduite d'activités collectives, ordinateur individuel pour l'élève dans des activités de soutien, outil de calcul et de représentation graphique pour l'analyse de résultats scientifiques, unité d'accès à des banques de données ou des réseaux... L'objectif déclaré est de donner des exemples d'utilisation à la fois pertinents dans chaque discipline et potentiellement transférables à d'autres disciplines.

Cette contrainte forte a amené les auteurs à supprimer certaines utilisations spécifiques comme celles de l'enseignement technique et à en atténuer d'autres, comme celles qui concernent l'enseignement scientifique (dans sa liaison avec l'expérience, notamment). Toutefois, le détail des utilisations de tableurs, de logiciels graphiques, d'exploitation de bases de données, etc., seront sources d'intérêt : les questions didactiques classiques ne manquent pas en effet de se poser lorsque les outils exigent la rigueur, lorsque les activités proposées sont de type investigation ou résolution de problème, et que les modes pédagogiques sont tournés vers l'élève. De même, le didacticien trouvera-t-il des éléments intéressants dans les nouvelles structures que sont les hypertextes ou dans les réseaux physiques qui permettent d'accéder à des informations situées en d'autres endroits ou stockées en d'autres temps.

La troisième partie, synthétisant les différentes tendances et reprenant différentes propositions, aborde en quelques pages des questions fondamentales, en particulier sur les contenus. Pour ce qui concerne une formation à l'informatique, deux points de vue sont formulés : celui de la culture informatique du futur citoyen et celui des connaissances requises pour des utilisations dans l'enseignement des autres disciplines ; dans les deux cas, c'est finalement la question d'un noyau commun de connaissances et celle de "l'alphabétisation informatique" qui sont posées. Pour ce qui est des contenus disciplinaires classiques, leur nécessaire évolution est clairement présentée et replacée dans la définition des nouveaux programmes. Enfin, ce sont les questions pressantes sur la formation des enseignants, et en particulier celle de la formation initiale des maîtres, qui sont soulevées.

Quelques éléments bibliographiques terminent l'ouvrage, complétant ceux fournis au fil du texte. On pourra peut-être regretter le choix de ne donner que quelques "pistes", tant en regard du nombre qui ne donne pas ainsi une image satisfaisante des ressources disponibles, que du point de vue du choix des

ouvrages qui n'indique guère l'existence de travaux de recherche pourtant nombreux (en informatique, didactique des disciplines, etc.).

D. Beaufiles

DEFORGE Y. (1993). *De l'éducation technologique à la culture technique*. Paris, ESF, 160 p.

Yves Deforge, ancien inspecteur de l'enseignement technique, chargé de cours à l'université de Compiègne, est connu de tous les historiens, philosophes et pédagogues des techniques pour ses ouvrages : *Le graphisme technique, son histoire et son enseignement* (Champ Vallon, 1981), *Technologie et génétique de l'objet industriel* (Maloine, 1985), *L'œuvre et le produit* (Champ Vallon, 1990). Il a été de toutes les aventures de l'éducation technologique en France et pour le Conseil de l'Europe à Strasbourg. En 1970 un petit livre justement intitulé *L'Éducation technologique* (Casterman) faisait le point de la conception et de la mise en place de la "technologie" dans les collèges français des années soixante. Aujourd'hui, avec *De l'éducation technologique à la culture technique*, Y. Deforge reprend une série de thèmes qui lui sont chers, et dont l'importance pour les formateurs d'ingénieurs, de techniciens, d'enseignants, ne peut échapper : comment penser la technique ? Qu'est-ce que la culture technique pour un technicien ? Qu'est-ce que la culture technique pour tous ? Quelle éducation pour cette culture ?

L'auteur n'esquive aucune des questions vives : relations entre culture scientifique et culture technique, technique et humanisme, technique et écologie, technique et morale. En même temps, il donne des illustrations concrètes, précises, vivantes, de ce que pourraient être des éléments de formation, pour l'enseignement général comme pour l'enseignement technologique secondaire ou supérieur. C'est une méthodologie pour une "technologie systémique et réflexive" qui est ainsi proposée par touches successives, riches d'aperçus nouveaux, d'expérience réfléchie, de vues historiques et comparatives. Mieux que dans des interventions ou articles limités, il est possible de prendre la mesure du point d'arrivée d'une pensée ouverte, mobile, inachevée, parfois tortueuse dans sa re-

cherche, mais qui est une des pensées majeures dans ce domaine. Le livre d'Y. Deforge est donc à lire absolument pour tous ceux qui s'intéressent à la technique, l'éducation technologique, et la culture technique.

Ajoutons qu'en annexe figure un remarquable projet de cours de philosophie des techniques pour des ingénieurs et des enseignants par T. Orel.

J.-L. Martinand

EHRlich M.-F., TARDIEU H. & CAVAZZA M. (Eds) (1993). *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations*. Paris, Masson, Collection Sciences Cognitives, 183 p.

Cet ouvrage présente indéniablement un double intérêt : proposer, en français, l'état de l'art sur la théorie des "modèles mentaux", d'un côté, et l'utilisation qui en est faite dans divers domaines des sciences cognitives, d'un autre côté. On ne peut que saluer l'heureuse initiative des coordonnateurs de cet ouvrage.

Dans l'introduction, Johnson-Laird présente les grandes lignes de sa théorie. Il rappelle notamment qu'un modèle mental est une représentation d'un état de choses, du monde extérieur, dont la structure reflète celle de la situation considérée et non la structure linguistique du discours. Les six chapitres qui composent cet ouvrage présentent comment cette théorie permet de rendre compte du rôle que jouent les représentations mentales dans divers domaines de la cognition : langage, compréhension de textes, raisonnement, imagerie mentale, analogie.

Les deux premiers chapitres sont consacrés à la compréhension du langage. Alan Garnham et Jane Oakhill montrent la conjugaison entre les approches psycholinguistiques et cette théorie. Ils présentent le rôle particulier que jouent, dans la compréhension de texte, les modèles mentaux dans le traitement des marques anaphoriques. Marie-France Ehrlich et Hubert Tardieu mènent une très intéressante analyse sur les rapports entre les modèles mentaux et les modèles de situations. Les résultats apportés mettent en lumière le rôle heuristique de cette théorie dans la compréhension de textes. Dans le troisième

chapitre, Michel Denis et Manuel de Vega traitent des rapports qu'entretiennent les modèles mentaux avec les images mentales et distinguent finement leur spécificité. Dans le quatrième chapitre, Vittorio Giroto s'attache à montrer comment, dans le raisonnement déductif, la théorie des modèles mentaux permet de résoudre les difficultés rencontrées par la logique mentale. Marc Cavazza présente, dans le cinquième chapitre, un prototype de compréhension automatique du langage naturel directement inspiré de la théorie des modèles mentaux. Enfin, avec le sixième chapitre, Marie-Dominique Gineste et Bipin Indurkha resituent, avec les recherches sur l'analogie, les différentes constructions théoriques qui s'appuient sur les notions de modèles mentaux et de modèles de connaissances.

Ces contributions témoignent de la diversité des travaux menés dans le champ des sciences cognitives et de l'utilité de la recherche interdisciplinaire. Mais elles illustrent aussi particulièrement bien les apports et les limites de la théorie des modèles mentaux à chacun des domaines considérés.

A cet égard, des questions de fond se posent lorsqu'on met en regard cette théorie et les situations d'apprentissage proposées en classe. Il convient, par exemple, de noter la différence de "taille" entre les situations étudiées dans cet ouvrage (relativement étroites, bien circonscrites et qui mettent en jeu un registre de fonctionnement cognitif bien particulier) et les situations scientifiques ou techniques (plus "riches", qui mobilisent généralement plusieurs registres). Par ailleurs, les expériences rapportées privilégient une approche solistique de l'activité des sujets. Qu'en est-il lorsque cette activité est réalisée en situation de communication : transmission d'informations ou résolution collective de problème, par exemple ? Enfin, comment la théorie des modèles mentaux, qui traite du changement cognitif et de l'apprentissage, rend-elle compte de la transformation des connaissances en savoir ?

Ces questions ne représentent aucunement une réserve. Au contraire, ce questionnement témoigne d'un vif intérêt pour un ouvrage clair, bien structuré et qui peut susciter encore bien d'autres interrogations.

R. Amigues

FAVE-BONNET M.-F. (1993). *Les enseignants-chercheurs physiciens*. Paris, INRP, 140 p.

Cet ouvrage présente une enquête sur la façon dont les enseignants-chercheurs vivent leur double (ou triple, si on ajoute les tâches administratives) métier. L'enquête concerne plusieurs disciplines mais se centre sur les physiciens en recherchant ce qui les caractérise. Les catégories de disciplines retenues sont : droit économie, lettres sciences humaines, autres sciences (mathématiques, chimie, biologie), physique.

Des entretiens non directifs (vingt pour les physiciens) ont permis de préparer un questionnaire écrit (244 répondants physiciens). Le questionnaire comprend quatre parties : situation personnelle (14 questions), environnement professionnel (17 questions), situation de l'université du répondant (3 questions) et perspectives de l'université (18 questions), plus une question ouverte : "Vous pouvez formuler ici toute remarque ou commentaire".

Les réponses au questionnaire sont traitées par analyse factorielle des correspondances et regroupées en quatre chapitres traitant respectivement des opinions sur la profession, la recherche, l'enseignement, les tâches administratives.

Par chapitre les thèmes suivants sont développés :

1 – un métier choisi, la place essentielle de la recherche dans le métier, un statut privilégié, salaires et carrières, la routine et la foi, partageraient-ils ?

2 – perspectives globales, la situation en tant que chercheur, de quelle recherche parle-t-on ?, la vie de laboratoire, le poids de l'argent, la question du temps, la recherche... une situation de tension, l'articulation enseignement-recherche ;

3 – la formation à l'enseignement, le poids des conditions matérielles, le temps de service, la vie du département, les relations avec les étudiants, les politiques d'enseignement, la question de l'investissement.

Dans la comparaison entre disciplines, il apparaît que les physiciens sont un peu plus positifs dans le jugement de leurs conditions de travail que leurs collègues et relativement plus optimistes au sujet de l'avenir.

Cet ouvrage, tant par ses résultats que par sa méthodologie (clairement exposée), devra intéresser des sociologues. Pour des chercheurs didacticiens, la méthodologie, bien que connue par ailleurs, peut être intéressante. Certains commentaires à propos de l'enseignement peuvent être éclairants. Par exemple, p. 83 : "[...] ils sont tous tarés, ils ne comprennent rien du tout." " [...] j'ai mis un certain temps à m'apercevoir que les étudiants n'étaient pas tarés. A partir de ce jour-là l'enseignement a pris du temps : j'ai découvert que ce n'était pas toujours évident pour les étudiants de comprendre ce que l'on disait, non pas parce que c'est difficile mais parce qu'on met dans notre vocabulaire des choses qui ne sont pas évidentes [...]"

Les formateurs et les enseignants ont par contre peu à apprendre de ce travail.

A. Dumas-Carré

GIORDAN A. & SOUCHON C. (1992). *Une pédagogie pour l'environnement*. Nice, Z'Éditions, 236 p.

Ce volume s'adresse à un public assez large : des novices aux experts en passant par les praticiens et les théoriciens. Un retour historique permet de bien situer les buts et les principales définitions dans ce domaine. La première section propose trois types d'activités pédagogiques qui s'adressent à la clientèle du primaire, aux élèves de 12-13 ans et au niveau pré-universitaire sur les thèmes respectifs de l'eau, du bruit et de la gestion des déchets. La deuxième section traite l'aspect didactique à travers une réflexion théorique sur ce que pourrait être un projet d'Éducation pour l'Environnement (EPE). L'approche systémique est ici considérée comme allant de soi, tant par les objectifs visés que par la définition même des problèmes environnementaux. L'EPE favorise, selon les auteurs, l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité.

Les auteurs misent davantage sur l'Éducation par la prise de conscience de ses propres valeurs et la connaissance de divers points de vue. Ils ont su bien marier les objectifs du développement d'une pensée critique et le passage à l'action par la résolution de problèmes. Les approches un peu négligées sont

celles favorisant l'éveil à la sensibilité environnementale. Il n'y a pas toujours, non plus, de concordance entre les principes pédagogiques énoncés et les activités proposées. Par exemple, la première activité traitant de l'eau semble très classique et moins constructiviste que les autres approches proposées. Les références bibliographiques auraient avantage à être plus diversifiées, de façon à sensibiliser les lecteurs à l'existence d'autres écoles de pensée en EPE.

Dans cet ouvrage, les auteurs ont pris la précaution de donner des balises afin de permettre aux enseignants ou aux responsables d'implantation de projets d'EPE, de superviser la mise en place, la progression et finalement l'évaluation d'une telle entreprise. En ce sens, ce livre devient un outil précieux car il allie la pertinence pratique et la connaissance des embûches du terrain, à la force d'un cadre théorique dépassant la simple EPE pour s'arrêter dans un projet éducatif plus englobant.

En résumé, l'apport innovateur de ce livre réside dans la présentation des stratégies à l'intérieur d'un cadre théorique renouvelé et critique face aux défis d'une EPE. Ce qui en fait la force est son côté éminemment pratique, de par ses exemples et ses suggestions encadrés d'une réflexion épistémique et didactique en profondeur, mais rendue compréhensible pour des non-spécialistes de ces questions. Les auteurs se distinguent aussi des positions alarmistes de certains groupes en éducation environnementale, car ils insistent davantage sur l'importance d'une analyse critique en profondeur et d'une prise de conscience préalable. On pourrait traduire leur position comme la recherche d'un juste équilibre entre une responsabilité critique et une action consciente.

L. Guilbert

SCHNEEBERGER P. (1992). *Problèmes et difficultés de l'enseignement d'un concept transversal : le concept de régulation*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

Depuis quelques années, la didactique des sciences s'intéresse à l'apprentissage des modèles scientifiques à l'école, car elle considère que l'élaboration des modèles demande les mêmes précautions didactiques que la

construction des concepts. La thèse de Patricia Schneeberger rejoint ainsi ce courant de préoccupations que nous avons initié en 1976 à l'INRP en proposant une approche des modèles et de la modélisation à propos d'un des concepts les plus opératoires de la biologie contemporaine, mais pas seulement, le concept de régulation.

Dans une première partie, cette étude propose de reprendre l'histoire du concept de régulation (qui a déjà fait l'objet de plusieurs études) afin de repérer les obstacles à sa construction et les conditions favorables à son émergence. Cette étude permet de cartographier finement le réseau de concepts auquel il appartient et conduit à une meilleure connaissance des éléments constitutifs.

Dans une deuxième partie, la recherche tente de suivre l'évolution de l'enseignement des phénomènes de régulation en se basant sur l'examen des programmes et des manuels correspondants. Chemin faisant, elle relève les problèmes posés par la transposition didactique et envisage la place du concept au baccalauréat, en référence aux types de compétences auxquelles il est fait appel (dans les devoirs portant sur les régulations physiologiques).

Dans une troisième partie, la question de la modélisation est analysée à la fois dans la recherche scientifique et dans l'enseignement actuel. Cette réflexion montre l'intérêt et les limites de certaines pratiques, et conduit à poser le problème de l'apprentissage.

Enfin, dans une quatrième partie, l'étude se focalise sur l'organisation de ce que pourrait être l'enseignement de ce modèle. Cette démarche conduit à quelques outils de référence susceptibles d'éclairer le choix des stratégies pédagogiques - notamment, comment on peut aider les élèves dans ce domaine (obstacles, situations, types d'intervention).

Tout est précis et argumenté, on ne peut donc que regretter que l'auteur n'ait pas poursuivi sa distinction concept-modèle jusqu'au bout, tant sur les plans épistémologique que pédagogique. Sur ce dernier point, il est dommage que P. Schneeberger n'ait pas conduit ses investigations vers plus de propositions opératoires. Mais cela permet d'espérer une suite que nous encourageons vivement.

A. Giordan

TSOUMPELIS L. (1993). *Contribution théorique à la didactique des sciences physiques. Explications et modèles dans des situations a-didactiques en sciences physiques : le cas de la concentration molaire.* Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon 1.

Cette thèse comprend trois parties correspondant en gros à trois moments de la recherche conduite par son auteur.

La première partie analyse la pertinence, dans des situations relevant de la didactique des sciences physiques, de la théorie proposée par G. Brousseau dans le cadre de la didactique des mathématiques. La transférabilité de cette théorie a été testée à propos de l'appropriation du concept de concentration molaire.

Les situations expérimentales qui ont servi de support à cette recherche utilisaient des phénomènes d'osmose observés pour une série de solutions aqueuses de différents solutés (surtout des sucres) à différentes concentrations. Les expériences effectuées ont mis en évidence l'importance des variables didactiques, choisies pour affecter le comportement des élèves et favoriser l'apprentissage du concept. Cependant, l'analyse *a posteriori* des résultats a mis en lumière des comportements d'élèves, très intéressants pour les sciences physiques, mais difficiles à interpréter strictement dans le cadre théorique initialement choisi.

Dans la deuxième partie l'auteur examine les modifications théoriques et méthodologiques à introduire dans la théorie de Brousseau pour tenir compte de la spécificité des situations expérimentales choisies. Ces modifications concernent le rôle de l'explication, de la prédiction et des modèles pour la construction du sens des concepts de ces disciplines. Cette réflexion a débouché sur une analyse historique et épistémologique de la construction des théories de l'osmose. Cette analyse constitue une partie particulièrement intéressante et originale de ce travail. La troisième partie concerne l'étude de l'évolution de la causalité et des explications des apprenants dans une situation de prédiction des phénomènes physico-chimiques. Il s'agit

d'une analyse comparative du comportement des élèves de la classe de seconde et des étudiants de DEUG. Les explications des élèves et des étudiants sont analysées en référence au rôle des modèles et de la modélisation en sciences physiques. En conclusion L. Tsoumpelis propose de nouvelles pistes de recherche et présente quelques éléments pour l'élaboration de séquences d'enseignement dans le domaine étudié.

Cette théorie aborde à travers l'étude de l'osmose la construction du concept de concentration molaire. Bien qu'elle soit, malencontreusement à notre avis, intitulée "contribution théorique à la didactique des sciences physiques", elle représente l'un des rares exemples d'importation dans le domaine de la didactique de la chimie de concepts provenant de la théorie des situations et de la transposition didactique, concepts qui ont leur source dans le domaine des mathématiques. L'adaptation, évidemment nécessaire, de ces concepts à la chimie, science expérimentale, est analysée avec rigueur et pertinence.

M. Chastrette

WEIL-BARAIS A. (1993). *L'homme cognitif*. Paris, PUF, 570 p.

Encore un manuel de Psychologie de plus destiné à des étudiants débutants, se diront certains. Mais le titre en forme de clin d'œil à *L'Homme neuronal* de Changeux devrait attirer leur attention par l'ampleur du projet. Il s'agit pour l'auteur, entourée de quatre collègues, de présenter à partir de recherches souvent récentes ce qu'est la psychologie cognitive actuelle. Une gageure tenue en 570 pages. La présentation est classique et s'articule autour des fonctions et structures cognitives (registres sensoriels et perception, langage, mémoire) et des processus mentaux (apprentissage, raisonnement et résolution de problèmes).

L'originalité du livre est le refus de se laisser enfermer dans une école particulière, en l'oc-

currence le paradigme traitement de l'information et son corrélat computationnel. Au contraire, la première partie relativement longue essaie de poser des jalons à la fois historiques et épistémologiques sur l'Homme étudié par les différents courants de la psychologie. Comme l'écrit A. Weil-Barais dans son avant-propos : "[la] pluralité, gênante pour qui aurait une représentation hégémonique du champ scientifique, nous semble pédagogiquement intéressante, puisqu'elle est susceptible d'aiguiser l'esprit critique des étudiants." C'est ainsi que les deux auteurs les plus cités sont Piaget et Freud, mais cela n'empêche pas A. Weil-Barais de présenter les systèmes de production ou de discuter l'opposition connaissance déclarative/ connaissance procédurale.

La partie qui intéressera sûrement le plus le didacticien est la dernière qui porte sur les processus cognitifs et plus particulièrement sur les connaissances. Si ce qui est présenté n'est pas nouveau pour un lecteur au courant de la littérature didactique ou cognitive, par contre le fait de le trouver dans un livre destiné aux étudiants débutants est plutôt rare. C'est ainsi que sont discutés les notions de champ conceptuel et de connaissance en acte de G. Vergnaud, le raisonnement expérimental sur lequel a travaillé l'auteur, ou encore l'opposition concept scientifique / concept catégoriel.

Le livre dans son ensemble est agréable à lire grâce, par exemple, à de nombreux encarts qui décrivent des expériences souvent tirées de publications récentes. Le nombre d'erreurs ou coquilles est extrêmement faible : un écart-type au lieu d'une variance (p. 519), un auteur au nom redoublé (p. 472) ou encore J.B. Watson mort en 1978 (p. 431) ! Toutefois un regret : pourquoi ne pas avoir fait un index des notions abordées alors qu'il existe par ailleurs un index des auteurs ? Cela aurait grandement facilité le travail des étudiants.

Un manuel ambitieux hautement recommandable, même pour des étudiants plus avancés que ceux visés par l'éditeur, ou pour des formateurs de maîtres qui aimeraient rafraîchir leurs connaissances en psychologie cognitive.

M. Caillot

LES FORMATIONS DOCTORALES DE DIDACTIQUE DES DISCIPLINES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES EN FRANCE

Formation Doctorale de didactique des disciplines scientifiques des universités Bordeaux 1, Montpellier 2, Pau (UPPA), Toulouse 3

Responsable général : J.-C. Martin, Université Toulouse 3

Responsables par établissement

- Bordeaux : G. Brousseau
Université Bordeaux 1, LADIST, 40 rue Lamartine
33400 Talence, France
- Montpellier : J.-M. Dusseau
Université Montpellier 2, Place Eugène Bataillon,
34095 Montpellier cedex, France
- Pau (UPPA) : Alain Dumon
Université de Pau et des Pays de l'Adour, 68 rue Montpensier,
64000 Pau, France
- Toulouse : R. Lefèvre,
Université Toulouse 3, LEMME
31062 Toulouse cedex, France

Formation Doctorale de didactique des disciplines scientifiques des universités Lyon 1 - Grenoble 1

Responsable général : G. Arsac, Université Lyon 1

Responsables par établissement

- Grenoble : C. Laborde
Université Grenoble 1, DidaTech, CNRS-IMAG et
Université Joseph Fourier, BP 53
38041 GRENOBLE cedex 9, France
- Lyon : G. Arsac
Université Lyon 1, Secrétariat du DEA de didactique
Bat. 711, 43 Bd du 11 novembre 1918
69622 Villeurbanne cedex, France

Formation Doctorale de didactique des disciplines des universités Paris 7, Paris 6, Paris Sud

Responsable : Y. Veyret, Université Paris 7

Option "Didactique des sciences physiques et chimiques"

- Responsable : L. Viennot
LDPES - Université Paris 7, Case 7021
75251 Paris cedex 05, France

Option "Didactique des disciplines techniques"

- Responsable : J.-L. Martinand
E.N.S. Cachan, 61 avenue du Pt Wilson
94235 Cachan cedex, France