

**De l'intérêt de respecter
la spécificité des disciplines
scientifiques et technologiques
dans l'enseignement.
Le cas de la conduction électrique**

**Is-it necessary to respect the specificity
of science and technology in teaching ?
The case of electrical conduction**

Jérôme VIARD

Lirdhist, Bâtiment 401D
Université Claude Bernard
69222 Villeurbanne cedex, France.

Résumé

La distinction entre science et technologie peut apparaître à beaucoup comme relevant d'un débat purement académique n'ayant aucune implication dans la pratique de ces disciplines et dans leur enseignement. Nous tenterons de montrer dans cet article, à partir d'un exemple emprunté à l'enseignement de l'électricité, qu'il n'en est rien. Une relation peut être établie entre des difficultés repérées chez des étudiants d'université dans la résolution d'un problème d'électricité considéré comme élémentaire et la confusion, entretenue pendant un certain nombre d'années par

l'enseignement dans l'esprit des élèves, entre deux présentations que nous qualifierons, l'une de technologique et l'autre de physique, de cette matière. Une volonté de clarification s'est manifestée chez les auteurs de certains programmes d'enseignement de l'électricité pour la classe de seconde en sciences physiques. Au vu de l'analyse de l'exemple précédent, il apparaît souhaitable, et dans l'intérêt des étudiants de ces disciplines, que ce projet de clarification soit mené à son terme, et qu'il apparaisse nettement à l'ensemble des acteurs du système éducatif concernés que les formulations scientifique et technologique d'une même question correspondent bien à deux problématiques distinctes.

Mots clés : science, technologie, programmes d'enseignement, conduction électrique, didactique de la physique.

Abstract

The distinction between Science and Technology may seem to many people to be purely academic without any implication for the practice and teaching of these subjects. We try to show, starting from an example borrowed from electricity teaching, that it is not the case. Some difficulties pointed out at a so called elementary level can be proved to be in relationship with the confusion maintained in the student' mind during several years between two presentations of this subject : the first we call technological, the second we call physical. The authors of certain French physics curricula for 12th graders reveal a will of clarification between physical and technological teaching of this subject. Starting from the analysis of the previous example and in the interest of students learning this subject, it is desirable that this clarification project be brought to a conclusion and that all concerned actors of the educational system become aware that scientific and technological approaches of the same issue fit in with two distinct problematics.

Key words : science, technology, curricula, electrical conduction, didactics of physics.

Resumen

A primera vista la distinción entre Ciencia y tecnología puede aparecer como una preocupación de tipo académico sin ninguna implicación en la práctica y en la enseñanza de esas disciplinas. En este artículo trataremos de mostrar lo contrario apoyándonos sobre un ejemplo proveniente de la enseñanza de la electricidad. A la luz de este estudio se pudo comprobar la relación entre las dificultades de algunos estudiantes en resolver ciertos problemas eléctricos considerados como básicos y la confusión mantenida durante muchos años entre un enfoque tecnológico y un enfoque físico de

la misma materia. Sin embargo, una voluntad de clarificación de parte de los autores de los últimos programas se manifestó en la clase de 1^{er} en ciencias físicas. A la luz del análisis del último ejemplo y en el interés de los estudiantes de estas disciplinas convendría que este proyecto de clarificación se lleve hasta el fin y que aparezca claramente al conjunto de los miembros del sistema educativo que los enfoques científicos y tecnológicos corresponden a dos problemáticas distintas.

Palabras claves : *ciencia, tecnología, currícula, conducción eléctrica, didáctica de la ciencia física.*

INTRODUCTION

« Scientificalité et technicité imposent-elles aux acteurs, aux savoirs et aux objets des régimes de fonctionnement différents ? Dans l'affirmative, comment l'enseignement reflète-t-il ces différences ? » (Durey & Vérillon, 1995, p. 3).

La première de ces questions résume l'une des interrogations que devrait, semble-t-il, susciter l'introduction d'un enseignement spécifique de la technologie dans l'enseignement secondaire général : comment les disciplines voisines, notamment scientifiques, vont-elles se situer par rapport à cette « nouvelle » discipline ? Pour autant, l'intérêt qu'il peut y avoir pour des élèves à établir une distinction claire entre pratiques scientifique et technologique semble avoir échappé aux concepteurs de certains programmes de physique. Ils regroupent en effet sous la même dénomination de « *programme de physique* » des activités qui relèvent les unes de la physique, et les autres de la technologie (Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, 1987a), sans signaler les différences qui existent entre ces pratiques. Dans ce cas du moins, les différences entre disciplines à caractère technique ou technologique d'une part et scientifique d'autre part ont été alors purement et simplement ignorées dans l'enseignement de la matière concernée (il s'agit de l'électricité). Ce point de vue correspond à une tradition ancienne depuis longtemps dénoncée par les défenseurs d'un enseignement spécifique de la technologie. Ainsi Joël Lebeaume signale-t-il que : « *le compte rendu de la réunion du 24 mai 1974 [de la commission Lagarrigue] mentionne un échange de lettres [...] critiquant la conception intégrée de la technologie à l'ensemble physique-chimie.* » (Lebeaume, 1996, p. 27). Cependant, quelques années après la réforme de 1987, d'autres physiciens, en charge de rédiger des programmes, adopteront une position diamétralement opposées à celles de leurs prédécesseurs : si des activités qui relèvent de la technologie sont prévues dans la pratique d'une classe de physique - et il y en aura -, on attirera

l'attention des enseignants sur le fait que ces activités ne sont pas à confondre avec celles qui relèvent de la physique : « [le] *souci de mieux ancrer la physique sur l'environnement technique ne doit conduire en aucun cas à confondre cette nouvelle démarche avec un enseignement de technologie. Il nous paraît important de préciser **quel est le domaine de cet enseignement de technologie et de le situer par rapport à celui d'un enseignement de physique.*** » (Groupe technique de physique, 1993, p. 7).

Il y a donc un débat au sein du système éducatif sur l'opportunité d'établir dans l'enseignement une distinction nette entre pratiques scientifique et technologique. Ce débat conserve toute son actualité comme en témoigne cette remarque d'un recteur d'académie qui attribue en partie la désaffection actuelle pour les études scientifiques dans les universités, « *au brouillage* [de l'enseignement des sciences au collège et au lycée] *avec celui de la technologie.* » (Bancel, cité par Gurrey, 1999, p. 12).

Nous avons, dans un travail antérieur (Viard, 1995), souligné l'intérêt de la distinction précédente pour la pratique professionnelle du chercheur, nous nous proposons dans cet article d'en établir l'intérêt pour l'enseignement en montrant sur un exemple, emprunté au domaine de l'électricité, que la confusion qui résulte, pour un lecteur non averti, du regroupement, sous un même vocable, d'activités relevant les unes de la physique, les autres de la technologie n'est pas neutre d'un point de vue didactique. Cette confusion peut être la source de réelles difficultés pour des étudiants dans la compréhension de certains phénomènes physiques. Nous examinerons d'abord la manifestation de ces difficultés chez des étudiants à l'université avant d'en proposer une interprétation. Nous tenterons ensuite, dans un premier temps, de fonder la distinction entre la formulation scientifique et technologique d'un problème sur une analyse des contenus, sans nous limiter à la seule dénomination dont nous avons déjà indiqué qu'elle peut être trompeuse. Nous tenterons ensuite de dégager des critères permettant d'identifier les deux problématiques évoquées ci-dessus. Ces critères seront ensuite utilisés pour analyser le contenu de deux réformes successives des programmes de l'enseignement de l'électricité en seconde dans l'enseignement général français, réalisées respectivement en 1987 et 1992. Un exemple sera fourni de l'état de l'enseignement de l'électricité avant la réforme de 1992. Enfin nous proposerons une vérification partielle de l'interprétation proposée de l'origine des difficultés des étudiants.

1. UNE DIFFICULTÉ INATTENDUE DANS LA RÉOLUTION D'UN PROBLÈME D'ÉLECTROCINÉTIQUE PAR DES ÉTUDIANTS DE LICENCE

La difficulté dont nous parlons sort du cadre, bien répertorié depuis de nombreuses années par les didacticiens de la physique, des difficultés classiques rencontrées dans l'enseignement de l'électrocinétique comme celles du « raisonnement local » ou du « raisonnement à courant constant » (Closset, 1983 ; Johsua & Dupin, 1993). Elle a trait à la résolution d'un problème considéré comme « trivial » par certains auteurs de manuels, celui de l'association de résistances en parallèle. Nous avons eu, en effet, la surprise de constater que la résolution de ce problème était la source d'une réelle difficulté pour une fraction non négligeable d'étudiants de licence, issus aussi bien des filières technologiques que de l'enseignement général (Khantine-Langlois & Viard, 1992 ; Khantine-Langlois & Viard, 1997 ; Viard & Khantine-Langlois, 2001).

Tous les ans, une même question accompagnant le schéma de la figure 1 ci-dessous, a été posée à des groupes d'au moins 40 étudiants de licence se destinant au professorat de l'enseignement secondaire et suivant un module d'initiation à la didactique de la physique : « *Comment varie la tension aux bornes de la résistance R_1 , quand on enlève la résistance R_3 ?* »

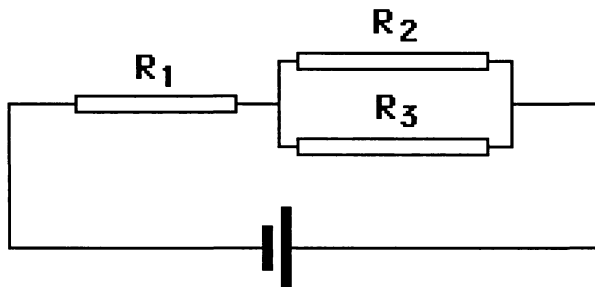


Figure 1 : Ce schéma servait de support à la question posée aux étudiants

La réponse attendue des étudiants était la suivante : « *La suppression d'une des résistances en parallèle a pour effet d'accroître la résistance totale du circuit, donc de diminuer l'intensité dans le circuit et la tension aux bornes de la résistance R_1 .* »

L'expérimentation s'est déroulée pendant dix années consécutives à partir de 1991. Nous n'avons pas trouvé, au cours de ces années, d'évolution sensible ni dans la nature des réponses, ni dans leur fréquence d'apparition au sein de la population étudiante et nous donnons ci-après un exemple des résultats obtenus au cours de ces expérimentations.

Une fois éliminés les étudiants utilisant un raisonnement local, qui, de ce fait, n'ont pas répondu à la question qui nous intéressait, nous avons été surpris de trouver encore 40 % d'étudiants, sur un effectif de 60, incapables de fournir une réponse correcte, que ce soit en licence d'ingénierie électrique ou en licence de sciences physiques. De 16 à 25 % des étudiants interrogés (16 % des étudiants de la licence d'ingénierie électrique, 25 % des étudiants de l'autre licence), ont répondu que la suppression d'une des résistances en parallèle avait pour effet de diminuer la résistance totale du circuit (pour plus de détails voir Khantine-Langlois & Viard, 1992 ; Viard & Khantine-Langlois, 2001).

Nous avons trouvé peu de littérature sur le thème des difficultés suscitées par le concept de résistance électrique à l'exception d'une étude de L. Mc Dermott & P. Schaffer qui atteste que cette difficulté n'est pas propre aux étudiants français. Pour une partie des étudiants rencontrés par ces auteurs, la résistance d'un circuit électrique est simplement fonction du nombre de composants résistifs de ce circuit indépendamment de la manière dont ils sont connectés. Cette concordance de résultats n'apporte cependant aucune information sur l'origine de la difficulté rencontrée. Mac Dermott & Schaffer se contentent d'indiquer que selon eux : « *De nombreux étudiants ne disposent pas de base observationnelle ou expérimentale sur laquelle ils pourraient fonder la construction des concepts formels de l'électricité élémentaire.* » (Mc Dermott & Schaffer, 1992, p. 996).

Plus précisément ils indiquent que : « [la] *difficulté à distinguer la résistance équivalente d'un réseau et la résistance d'un élément individuel est tout à fait commune.* [Certains étudiants] *ne semblent pas prendre garde au fait que la résistance équivalente est une abstraction qui est principalement utile pour trouver le courant total ou la différence de potentiel dans une branche, un réseau, un circuit. Souvent il apparaît que les étudiants considèrent la résistance équivalente dans le circuit comme si elle était une propriété d'une ampoule individuelle au sein du circuit.* » (Mc Dermott & Schaffer, 1992, p. 999).

En résumé, L. Mc Dermott & P. Schaffer considèrent que les difficultés éprouvées par les étudiants ont pour origine le fait que ces derniers en restent à une analyse du circuit électrique en termes d'objets matériels. Les étudiants ont du mal à dépasser ce niveau de description pour accéder aux phénomènes dont ces objets sont le siège. Pour illustrer ce constat Mac Dermott & Schaffer indiquent par exemple que : « *Le terme parallèle*

conserve souvent une interprétation plutôt géométrique qu'électrique. » (Mc Dermott & Schaffer, 1992, p. 999). Nous partirons de cette dernière remarque pour proposer une interprétation de la difficulté éprouvée par les étudiants.

2. UNE TENTATIVE D'INTERPRÉTATION DE LA DIFFICULTÉ PRÉCÉDENTE

L'interprétation de cette difficulté a nécessité un réexamen de la nature du problème. La référence à l'histoire s'est avérée utile : au début du 19^{ème} siècle ce problème n'était pas considéré comme « trivial ». Il faisait l'objet au contraire, aux débuts de l'enseignement de l'électricité, dans les années 1830 d'un enseignement universitaire approfondi. Pouillet (1837) présente ce problème dans la troisième édition des « *Éléments de physique expérimentale et de Météorologie* » comme l'un des objets de ses recherches. Il semblerait donc que la difficulté de ce problème ait été fortement sous-estimée par les auteurs de manuels actuels. Nous présenterons, dans la deuxième partie de cette section, la formulation du problème proposée par Pouillet et sa solution mais auparavant la référence à l'histoire nous permet de faire un autre constat : le problème décrit dans la section précédente et soumis aux étudiants diffère sensiblement de celui posé par Pouillet et ses interlocuteurs du 19^{ème} siècle. La même situation de départ : le branchement en parallèle de deux éléments de circuit, peut conduire, suivant le cadre théorique choisi et la question posée, à deux problèmes de nature différente et de difficulté très différente. Ces problèmes ont des noms distincts, cette différence de dénomination n'est pas anodine. Le problème proposé aux étudiants est celui de « *l'association de résistances en parallèle* », le problème tel qu'il est formulé par Ohm (1860, p. 64) ou par Pouillet (1837, p. 591) est celui des « *courants dérivés* ». Nous examinerons successivement les deux formulations du problème en commençant par l'actuelle.

2.1. Dans sa formulation actuelle, le problème est celui de l'association d'objets matériels et des lois qui régissent cette association

Depuis 1978, le problème est formulé dans les programmes de seconde en termes d'association d'objets. Si la formulation fluctue un peu au cours du temps : « *association de dipôles* » en 1978, « *association de conducteurs ohmiques* » en 1987 ou encore « *association de résistances* » en 1992, le contenu désigné reste le même.

Le terme « résistance » désigne, par métonymie, un objet fortement résistant et faiblement conducteur, de même que le terme « conducteur » désigne, lui, un objet fortement conducteur et faiblement résistant. L'opposition, ainsi instaurée entre les termes conducteur et résistance resterait, peut-être, sans conséquence si elle demeurait confinée au niveau du langage courant. Mais cette opposition a, de plus, une traduction symbolique graphique : dans un schéma électrique, le conducteur est représenté par un trait sans épaisseur et la résistance par un rectangle allongé. Cette représentation graphique est relativement récente, jusqu'aux années 1970, dans des documents techniques, comme les catalogues de composants électroniques fournis par les fabricants, les résistances étaient représentées par une ligne brisée. La représentation antérieure n'instaurait pas la même discontinuité entre un « conducteur » et une « résistance » représentée alors comme un conducteur possédant une longueur plus importante pour un même espace occupé, ce qui était le cas des résistances bobinées.

Par ailleurs, la représentation symbolique de la résistance acquiert, dans le contexte de l'enseignement, une traduction fonctionnelle qui, nous le verrons, n'est pas sans conséquences. La résistance est présentée comme un limiteur de courant (par opposition au conducteur qui possède la faculté de conduire sans limitation). Certains manuels illustrent de façon particulièrement éloquente cette « fonction » de la résistance. Ainsi dans l'un d'entre eux, le chapitre intitulé : « *La résistance d'un conducteur* » débute par la représentation d'un tuyau d'arrosage connecté à un robinet assorti de la question : « *En électricité, une résistance joue-t-elle le même rôle qu'un robinet ?* » (Gendric et al., 1993, p. 40). L'établissement d'une analogie stricte entre le circuit hydraulique précédent et un circuit électrique, permet ensuite de répondre positivement à la question posée au moyen du constat suivant : l'introduction d'une résistance dans un circuit électrique comprenant une ampoule diminue l'éclat de la lampe.

En établissant cette analogie les auteurs cherchent, à l'évidence, à identifier une fonction commune à ces deux objets, qui cependant n'a aucun correspondant dans la technologie de référence sous-jacente. En électronique en effet, la fonction des résistances consiste essentiellement à répartir des potentiels, à fixer des « *points de fonctionnement* » pour d'autres composants en constituant des « *ponts diviseurs de tension* ». Cette « fonction » est ainsi propre au discours enseignant. D'où vient cette attribution, d'une fonction déterminée à cet objet ? Peut-être tout simplement des exigences des programmes officiels. C'est ce que laisse supposer ce discours d'un formateur de l'enseignement technique. L'auteur précise d'abord les compétences requises pour l'élève en citant le texte du référentiel : « *l'élève doit être capable, à partir de l'analyse du modèle et de*

la structure de donner la fonction ». Puis il développe en commentant : « [...] en partant du composant, en allant vers la fonction, il y a le modèle électrique du composant. Du point de vue électrique, il y a les composants passifs et les composants actifs. Les composants passifs au niveau de l'électronique, c'est relativement simple, ce sont les composants de type résistif, de type capacitif, ou les composants de type inductif. (Je dis bien les composants de ce type-là parce qu'on va essayer de distinguer, chez l'élève comme chez l'enseignant, le composant et son comportement, c'est-à-dire le composant résistif a une résistance et dans le langage courant, on appelle le composant du même terme que la grandeur, c'est à dire que l'on confond la résistance et le composant résistif.) » (Calmettes, communication privée).

Le « *comportement* » résistif est clairement identifié dans le commentaire précédent à une « *fonction* » spécifique de l'objet. Ailleurs, si le terme de fonction n'est pas utilisé, l'emploi du verbe « *résister* », suggère fortement que la résistance exerce une action sur le courant électrique :

« *La résistance est une grandeur qui caractérise l'aptitude du conducteur ohmique à **résister** au passage du courant électrique.* » (Ce sont les auteurs qui soulignent, Dirand et al., 1981, p. 155).

Ce point de vue a des échos dans d'autres domaines que celui de l'enseignement comme l'atteste ce commentaire extrait d'un ouvrage de vulgarisation de l'histoire des techniques : « *Dans un circuit, un composant résiste plus ou moins au courant, mais la résistance est un composant spécialement conçu pour réduire le flot des électrons. Elle protège ainsi les composants fragiles d'un excès de courant.* » (Drye, 1993, p. 104).

Pour conclure, si cette présentation de la résistance ne traduit pas le point de vue du technicien électronique, elle ne traduit pas davantage celui du physicien. C'est en effet en termes de conductance, de « *pouvoir conducteur* » et de « *conductibilité* », et non pas de résistance, qu'est analysée et théorisée depuis le début, par des physiciens comme Becquerel (1826) et Ohm (1860) la conduction électrique. L'élément primitif est la circulation de l'électricité et non ce qui s'oppose à cette circulation. La notion de résistance est associée par contre à l'une des premières applications de l'électricité voltaïque que constitue le télégraphe électrique à partir du constat de l'existence de « *pertes de transmission* » (Schagrin, 1963, p. 541). Cette conception de la résistance exprime ainsi un point de vue qui est beaucoup plus proche du sens commun que de contenus propres aux deux disciplines qui nous intéressent ici. Cependant, son association à une fonction technique nous a semblé intéressante, parce qu'elle est l'expression d'une confusion, chez certains auteurs, entre des points de vue, des questionnements qui gagneraient à être distingués. La résistance

est-elle l'un des constituants d'un dispositif technique qui assure l'une des fonctions particulières nécessaires au fonctionnement de l'ensemble ou bien est-elle, dans un circuit électrique, un conducteur un peu (ou beaucoup) moins conducteur que les autres éléments du circuit ? Suivant le point de vue que l'on adopte il est clair que les problèmes que l'on formulera à propos de ce même objet seront différents. Cette remarque nous conduit à examiner maintenant la deuxième formulation du problème, celle des « courants dérivés ».

2.2. Dans une formulation antérieure, le problème met en relation des phénomènes

La deuxième formulation est celle d'un problème, autrefois très classique, dit des « courants dérivés » obtenus lorsqu'on branche un fil en dérivation sur un autre. Elle est l'illustration du point de vue du physicien. La problématique retenue est celle de la description de la conduction électrique, dans des matériaux de géométrie bien définie : des « fils » généralement métalliques. La solution exacte du problème n'est pas simple ; elle suppose d'abord l'établissement des : « *Lois générales de l'intensité des courants électriques.* » (Pouillet, 1837, p. 582), c'est-à-dire de l'ensemble des dépendances de l'intensité du courant, repérée par ses effets magnétiques, envers les caractéristiques géométriques (longueur, section) et substantielle (conductivité) de ce circuit. Pour une source de tension donnée, à température donnée, l'intensité du courant est inversement proportionnelle à la longueur (l) du conducteur mais proportionnelle à la section (s) et à une propriété de la substance, la conductivité (c). Pouillet en déduit une condition d'égalité des courants dans deux circuits ayant des caractéristiques différentes mais connectés chacun à des sources de tension identiques. Ainsi, le premier circuit ayant pour caractéristiques s, c, l et le second s', c', l' :

« pour que le deuxième courant soit égal au premier, il suffit que l'on ait : $s'.c'.l = s.c.l'$, condition qui peut être remplie d'une infinité de manières. » (Pouillet, 1837, p. 589).

Cette condition d'égalité sera reformulée par Lamé peu après (1840) de la manière suivante :

$$\frac{c.s}{l} = \frac{c'.s'}{l'}$$

En identifiant, dans le rapport $\frac{c.s}{l}$, un invariant caractéristique du

niveau de conduction d'un circuit pour une source donnée, Lamé introduit un nouveau concept : celui de conductance électrique, et lui donne un nom :

« Ainsi la fraction $\frac{c.s}{l}$ tant qu'elle conserve la même valeur, donne à une portion de circuit la faculté de conduire un courant de même intensité ; nous appelons cette fraction la puissance conductrice de la portion considérée. » (Lamé, 1840, p. 328).

Avec l'élaboration du concept de faculté conductrice est introduit la structure ou le cadre théorique, constitué de l'ensemble des propriétés du circuit (électriques, géométriques et substantielles) et des relations existant entre ces propriétés, à l'intérieur duquel le problème des courants dérivés pourra être résolu. La résolution consiste à déterminer les caractéristiques (l, s) d'un circuit simple équivalent à un circuit comportant une dérivation. Si elle est complexe, la solution envisagée apparaît cependant « naturelle » dans cette problématique définie en termes de conduction : « *Un courant [...] traverse d'abord le fil de cuivre racbr' qui forme avec [la source] un circuit simple ; ensuite, avec un autre fil de cuivre adb on vient établir des communications aux points a et b, [...] Il paraît naturel de supposer que le courant va se ramifier ou se décomposer au point a, qu'une partie continuera à passer directement de a en b par le premier fil c, tandis qu'une autre partie viendra prendre la nouvelle route qui lui est offerte par le fil additionnel adb.* ». (C'est nous qui soulignons, Pouillet 1837, p. 591). Voir figure 2.

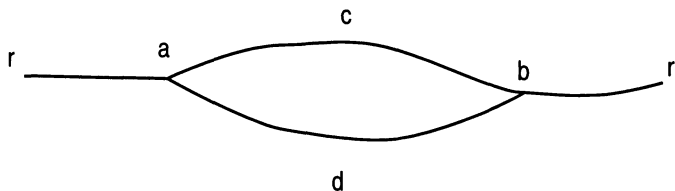


Figure 2 : À un conducteur initial, acb, est rajouté, en dérivation, le conducteur adb

Le résultat obtenu est le prolongement direct du raisonnement précédent : deux routes valent mieux qu'une pour conduire l'électricité. De plus, ce résultat obtenu prend immédiatement sens parce qu'il est en accord avec les autres éléments théoriques dont on dispose : la dépendance directe de l'intensité du courant à l'égard de la section du conducteur. L'ajout d'un conducteur en dérivation équivaut à accroître la section du conducteur existant et se traduit nécessairement par un accroissement de l'intensité. Il ne restera qu'à calculer l'accroissement de la section du conducteur existant permettant d'obtenir un accroissement d'intensité équivalent à celui produit

par l'apport d'une dérivation. L'idée de conducteur équivalent sous-tend le calcul. L'argumentation qui consiste à raisonner à partir de l'influence de la section du conducteur sur l'intensité, pour interpréter l'effet de l'adjonction d'une dérivation, sera reprise régulièrement jusqu'au début du XX^e siècle. Ainsi Branly justifie la règle classique selon laquelle l'inverse de la résistance équivalente à deux résistances en parallèle est égale à la somme des inverses des deux résistances précédentes par le fait que, si les autres paramètres (longueur et résistivité) sont pris égaux à l'unité, l'inverse des résistances r et r' de chaque conducteur sera égal à leurs sections respectives s et s' . Par suite : « *l'ensemble des deux conducteurs se comportera comme un conducteur unique de longueur 1, de section $s+s'$* »

dont la résistance serait $r_1 = \frac{1}{s + s'}$ » (Branly, 1898, p. 449).

De même Graetz, après avoir anticipé une difficulté d'interprétation chez son lecteur : « *Ce serait une erreur de croire que deux dérivations du conducteur opposent, au courant, une résistance totale égale à la somme des résistances des deux conducteurs. Cette résistance est au contraire beaucoup plus petite, plus petite même que la résistance de chaque conducteur, prise séparément.* » (Graetz, 1911, p. 65), propose comme solution à cette difficulté un raisonnement très proche de celui de Branly : « *On peut s'en rendre immédiatement compte en supposant que les deux dérivations ont une même longueur et une même section. Le courant s'écoule alors, de a à travers les deux dérivations en même temps ; tout se passe donc comme s'il n'existait qu'un seul conducteur de a en b mais de section double de celle de chacune des dérivations. La résistance d'un tel conducteur est comme nous le savons, seulement la moitié de celle des dérivations.* » (Graetz, 1911, p. 65).

Cette analyse de Graetz contient une proposition d'interprétation de l'origine des difficultés rencontrées par les étudiants et nous permet de revenir à l'objet principal de cette section.

2.3. Formuler la question exclusivement en termes d'association de résistances écarte les étudiants de la seule solution vraiment satisfaisante au problème posé

La difficulté rencontrée par les étudiants nous est apparue très tôt en relation directe avec la formulation du problème en termes d'association d'objets présentés comme des obstacles à la circulation du courant. À cet égard, le commentaire d'étudiants ayant apporté la « bonne réponse », est aussi significatif que la réponse erronée qui affirme que : « *Supprimer l'une*

des résistances diminue la résistance totale du circuit. » En affirmant que : « *La somme de deux résistances en parallèle est toujours inférieure à l'une des deux résistances* » l'un de ces étudiants met le doigt sur la difficulté à laquelle il est confronté : dire que la somme de deux obstacles est inférieure à l'un de ces obstacles envisagé séparément est absurde. Cet étudiant tient à signaler cette contradiction au moment même où il fournit à l'enseignant la réponse que ce dernier attend de lui.

Nous avons vu plus haut que la difficulté rencontrée par les étudiants est connue et mentionnée depuis longtemps par certains spécialistes du domaine, Graetz signale à son lecteur qu'elle peut être source d'erreur. On ne peut qu'être frappé également par le fait que cet auteur souligne, comme l'étudiant cité plus haut, le caractère paradoxal de l'effet de l'association de conducteurs en dérivation sur la résistance totale que ces conducteurs opposent au courant : « *Cette résistance est au contraire [de ce à quoi on aurait tendance à croire] beaucoup plus petite, plus petite même que la résistance de chaque conducteur, prise séparément.* » (Graetz, 1911, p. 65). Il y a cependant une différence importante : l'étudiant précédent est incapable de justifier l'énoncé ci-dessus, Graetz, lui, est en mesure de fournir une interprétation d'un résultat qu'il sait paradoxal pour ses lecteurs car il peut passer d'une problématique formulée en termes de comptabilisation des obstacles à une autre formulée en termes de recherche des conditions de la conduction optimale. Nous avons vu en effet, que, dans une problématique formulée en termes d'obstacle, l'interprétation du résultat obtenu n'est jamais disponible alors que dans une problématique formulée en termes de « chemin » de conduction, cette interprétation est disponible avant même que le calcul ne soit achevé. Si la dérivation constitue une « *nouvelle route* » offerte au courant pour reprendre les termes de Pouillet (1837), il est naturel de penser qu'elle facilite la conduction. Il en résulte, pour celui qui a la charge de résoudre le problème, un « coût intellectuel » beaucoup plus faible dans ce dernier cas, qui peut suggérer, en retour, une interprétation possible de la difficulté précédente des étudiants à résoudre le problème. Si 40 % d'étudiants sont incapables de résoudre ce problème élémentaire, c'est en grande partie parce qu'ils ne sont pas en mesure de reformuler ce problème en termes de conductance. Une remarque similaire a été faite par certains auteurs (Johnstone & Mughol, 1978) dans le cas d'élèves plus jeunes. La solution aux difficultés des étudiants reviendrait pour eux à changer de cadre théorique selon la terminologie de Régine Douady (1986). Régine Douady ne parle pas de cadre théorique mais simplement de « cadre » mais la définition qu'elle en donne, un ensemble d'objets de la théorie munis de leur relations, de leurs formulations, de leurs représentations, correspond bien à celle d'un cadre théorique. Ce changement de cadre théorique entraîne à son tour un changement de problématique si l'on définit une problématique comme une manière de

formuler un problème à l'intérieur d'un cadre théorique déterminé. C'est d'ailleurs l'objectif du changement de cadre pour R. Douady : « *Le changement de cadre est un moyen d'obtenir des formulations différentes d'un problème qui, sans être nécessairement équivalentes, permettent un nouvel accès aux difficultés rencontrées et la mise en oeuvre d'outils techniques qui ne s'imposaient pas dans la première formulation.* » (Douady, 1986, p. 11). Mais cette remarque débouche sur une question : pourquoi les étudiants n'ont-ils pas eu accès à la problématique la plus féconde ?

Une réponse consiste à situer l'origine des difficultés actuelles des étudiants dans la présentation qui leur a été faite de l'électricité avant la licence, privilégiant l'une des problématiques au détriment de l'autre. Pour examiner le bien-fondé de cette supposition, il est nécessaire d'étendre notre champ d'investigation relatif à l'enseignement de l'électricité au delà du problème très limité que nous avons examiné jusque là. Mais cela suppose de disposer de critères permettant d'identifier les problématiques précédentes dans d'autres contextes. La première, nous l'avons vu, est formulée en termes d'agencement d'objets techniques et de fonctionnement de l'ensemble. La seconde est formulée en termes de phénomènes (courant électrique, simple, dérivé), de propriétés physiques (géométrique, substantielle), de grandeurs physiques (intensité, longueur, section, conductivité) et de relations entre ces propriétés et/ou ces grandeurs qui permettent de définir le concept physique de conductance électrique. La première problématique traduit plutôt le point de vue du technologue et la seconde celle du physicien. Les éléments rassemblés sont toutefois insuffisants pour fonder sur des bases solides une telle distinction, cette question fait l'objet de la section suivante.

3. QUELS FONDEMENTS POUR UNE DISTINCTION ENTRE PROBLÉMATIQUES SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE ?

Cette question renvoie elle-même à une autre préalable : cette distinction a-t-elle encore un sens aujourd'hui en raison de l'imbrication croissante des sciences et des techniques ? Pour notre part, nous ferons l'hypothèse que ces pratiques sont associées à des cadres théoriques distincts et que ces cadres théoriques peuvent conduire à leur tour à des problématiques distinctes également. Avant d'explicitier les hypothèses précédentes, il est nécessaire de préciser le sens donné ici au terme de technologie. La lecture de l'article « Technologie » dans l'*Encyclopædia Universalis* (1995) rédigé par J. Guillerme révèle que ce mot est fortement polysémique. On peut en dénombrer trois acceptions : la première et la

plus ancienne, empruntée au grec, est celle d'un discours général sur les techniques ; la plus récente n'est autre que la version anglicisée du mot technique et la troisième, datant du 19^{ème} siècle, définit la technologie comme l'étude et la mise en oeuvre des procédés de fabrication. Sans exclure ce dernier aspect, nous proposons une acception plus large. Nous considérerons que la technologie a pour objet la conception, la réalisation et le maintien en état de fonctionnement des ensembles d'objets techniques. Ce faisant, nous reprenons, à peu de chose près, le contenu auquel se réfère implicitement la COPRET (Commission Permanente de Réflexion sur l'Enseignement de la Technologie) : « *La finalité proposée pour l'éducation technologique comme élément important de la culture générale est : 1) Compréhension, appropriation des démarches de conception, étude, fabrication, essais, utilisation de produits techniques (objets techniques matériels, organisation d'informations en vue d'un but déterminé).* » (Commission Permanente de Réflexion sur l'Enseignement de la Technologie, 1986, p. 7).

La définition précédente renvoie à celle d'objet technique. Certains, après avoir posé explicitement la question : « *QU'EST-CE QU'UN OBJET TECHNIQUE?* » (Séris, 1994, p. 22), la laissent sans réponse. Ils auraient pu cependant en trouver une chez un de leurs prédécesseurs, Gilbert Simondon, auquel un colloque du collège international de philosophie a été consacré en 1992. Mais curieusement, l'auteur de la question ci-dessus, tout en notant l'apport décisif que constitue « *Le mode d'existence des objets techniques* » indique que son auteur ne fournit pas de « *définition liminaire* » (Séris, 1994, p. 29). Pourtant Simondon fournit bel et bien une définition au début de son ouvrage : « *Il est possible de chercher à définir l'objet technique en lui-même par le processus de concrétisation et de surdétermination fonctionnelle qui lui donne sa consistance au terme d'une évolution, prouvant qu'il ne saurait être considéré comme un pur ustensile.* » (Simondon, 1969, p. 15).

Pour Simondon, l'idée de fonction est au coeur de celle d'objet technique. L'objet technique est la concrétisation d'une fonction et c'est cela même qui lui donne sa consistance. Les précautions prises dans la formulation soulignent l'importance que l'auteur attache à son énoncé. Simondon constitue l'une des références de la COPRET aussi n'est-il pas surprenant que le concept de fonction occupe une place centrale dans les propositions de cette commission : « *Un objet technique peut être lu suivant diverses perspectives et ce sont ces multiples lectures qui mettent en évidence les convergences qu'il assure. **Il se lit comme un agencement d'éléments matériels (ou d'informations dans le cas d'un logiciel) rationnellement conçus et réalisés en vue d'un usage déterminé. Il se lit comme un " système " de fonctions techniques en interrelations,***

conçues en vue de l'efficacité et de la fiabilité d'une fonction globale caractérisant son emploi. Il se lit comme articulation de phénomènes scientifiquement ou empiriquement connus, délibérément choisis en vue de remplir des fonctions déterminées, et il est le siège de phénomènes annexes, parasites et perturbateurs qui naissent de la concrétisation de l'objet et de son fonctionnement, phénomènes qu'il faut maîtriser, soit en les exploitant utilement, soit par des mises au point en les éliminant ou tout au moins en les rendant fonctionnellement inexistantes. Ces trois lectures font apparaître l'objet technique comme concrétisation d'une pensée créatrice qui maîtrise sa création. » (Commission permanente de réflexion sur l'enseignement de la technologie, 1986, p. 3).

Si nous adoptons le point de vue exposé ci-dessus, il résulte de la définition donnée auparavant que la technologie a pour objet principal la conception et l'étude des fonctions techniques et des systèmes de fonctions techniques d'une part, et leur réalisation sous forme d'objets techniques ou d'ensemble d'objets techniques d'autre part. C'est ce qu'énonce, de façon un peu plus restrictive, l'un des participants au colloque consacré à G. Simondon et évoqué plus haut : « *La technologie comme mécanologie étudie la dynamique machinique des objets techniques industriels c'est à dire des objets qui fonctionnent.* » (Stiegler, 1994, p. 240). Parmi les disciplines il en est peu qui font une place aussi importante au concept de fonction et à l'analyse fonctionnelle, à ce titre, remarque Lucien Géminard président de la COPRET : « *la technologie est plus proche des sciences naturelles que de la physique et de la chimie* » (Géminard, 1980, cité par Calmettes, 1996). Ce point de vue est ancien, il trouve cependant aujourd'hui une justification nouvelle du fait de l'importance prise dans certaines pratiques industrielles, par l'activité de conception désormais totalement dissociée de l'activité de réalisation des produits. Le point de vue fonctionnel acquiert, dans ce contexte, un caractère opératoire nouveau. L'analyse fonctionnelle descendante qui permet de décomposer une fonctionnalité globale en sous-fonctions de niveau de complexité inférieure jusqu'à atteindre une fonction élémentaire est ainsi à la base de toute l'activité de conception de circuit intégré en micro-électronique. Elle constitue d'ailleurs le noyau dur des enseignements des D.E.A. (Diplômes d'Études Approfondies) de micro-électronique pour la partie conception. Le développement de la SADT (Structured Analysis and Design Technic) dans l'industrie et son introduction dans l'enseignement (Calmettes, 1996) attestent, par ailleurs, de l'importance qu'a pris l'analyse fonctionnelle dans la conception des objets techniques au delà du domaine restreint de la micro-électronique. Ces outils nouveaux ne doivent pas faire oublier les anciens : le schéma constitue déjà un outil d'analyse fonctionnelle comme l'atteste le premier sens du mot (Robert, 1976).

L'analyse fonctionnelle a pour complément l'analyse structurelle qui vise à la décomposition de l'objet en ses différents éléments matériels qui le constituent : « [...] *la culture technoscientifique postule une maîtrise de la complexité fonctionnelle de l'univers technique concret, de sa surface tournée vers l'utilisateur et une maîtrise de sa complexité structurelle, de son "intérieurité", qui renvoie aux processus de production et de maintenance qui se dérobe généralement comme "boîte noire".* » (Hottois, 1993, p. 28). Mais cette seconde analyse a une visée plus architectonique qu'interprétative. Pour reprendre la formulation d'un auteur de contenus d'enseignements de S.T.I. (Sciences et Techniques Industrielles) cité par B. Calmettes, « *La structure supporte les fonctions* » (Calmettes, 1996, p. 77), mais le sens d'un objet technique est porté par sa fonction ou par l'ensemble de ses fonctions qui définissent son identité. Un objet technique, dont la fonction technique a été oubliée, a perdu son identité d'objet technique, même s'il conserve une fonction esthétique et l'analyse de la structure matérielle de l'objet ne permettra pas, à elle seule, d'attribuer une signification à l'existence de cet objet.

Si nous voulons établir un parallèle, nous pouvons dire qu'en physique, le sens est porté par les propriétés physiques et par les relations entre ces propriétés qui sont à l'origine des concepts fondamentaux. En effet, depuis le XVIII^e siècle, la physique est définie comme la science des propriétés des corps : « *La physique est la science des propriétés des corps naturels, de leurs phénomènes et de leurs effets* » (D'Alembert, 1765, p. 539a) et de leur rapports : « *Les propriétés sensibles des corps qui nous environnent, ont entre elles des rapports plus ou moins marqués dont la connaissance est presque toujours le terme prescrit à nos lumières, et doit être par conséquent notre principal objet dans l'étude de la Physique.* » (D'Alembert, 1744, p. iij).

« *Qualité propre ou propriété* » (Mariotte, 1992, p. 25) est synonyme de caractère. Le caractère d'une personne se manifeste par son comportement, aussi, un équivalent moderne du terme de propriété est celui de comportement (Robert, 1976). La quête des propriétés suppose une attitude active du physicien et l'on accède aux propriétés physiques par l'observation mais surtout par l'expérience : « *Les premiers objets réels de la physique expérimentale sont les propriétés générales des corps, que l'observation nous fait connaître, pour ainsi dire, en gros, mais dont l'expérience seule peut mesurer et déterminer les effets* » (D'Alembert, 1756, p. 300b), et l'expérience, « *ne se borne pas à écouter la Nature, mais elle l'interroge et la presse.* » (D'Alembert, 1756, p. 298b). Les propriétés traduisent ainsi le comportement d'un objet physique en réaction à des sollicitations externes, ainsi les propriétés électriques traduisent le comportement d'un corps soumis à une « tension » électrique.

L'établissement des relations de dépendance réciproque entre propriétés physiques permet ensuite de décrire ou de comprendre les phénomènes physiques. Cette définition de l'objet de la pratique scientifique est encore partagée par certains de nos contemporains : « *J'ai commencé par définir la science comme un effort pour comprendre le comportement de la nature.* » (Feynman, 1985, p. 244).

En résumé, un même objet issu de la technique peut être l'objet de deux interprétations :

– « *il peut être lu* », prioritairement comme un objet technique. S'il est le siège de phénomènes physiques, l'intérêt porté à ces phénomènes sera conditionné à la réalisation de la fonctionnalité associée à l'objet. À ce titre, certains phénomènes qui contribuent à la réalisation de cette fonction seront valorisés, d'autres, au contraire, seront considérés comme « *parasites* » s'ils perturbent la réalisation de la fonction visée,

– il peut être considéré, au contraire, prioritairement comme le siège de phénomènes physiques, et accessoirement comme un produit de la technique dont le seul intérêt est, dans le cas considéré, de permettre l'émergence des phénomènes que l'on veut étudier. Les phénomènes qualifiés de « *parasites* » pour la réalisation d'une fonction technique présentent alors le même intérêt que les phénomènes « *favorables* », et la distinction précédente entre ces deux types de phénomènes n'a plus lieu d'être pour le physicien.

Pour conclure, nous dirons qu'il existe une activité théorique dans les deux disciplines, mais que l'objet de cette activité diffère selon la discipline. Dans un cas, cette activité a pour objet la conception et l'étude de la réalisation de fonctions complexes à partir de fonctions élémentaires, dans un autre, cette activité a pour objet, à la fois la caractérisation des phénomènes au moyen d'un ensemble de propriétés, et leur interprétation par l'établissement de relations entre ces propriétés.

De même l'activité de modélisation occupe une place déterminante dans les deux disciplines. Mais sous une même dénomination, sont désignées des pratiques totalement distinctes. Ainsi pour certains auteurs, (Hostein & Lebrun, 1992), la modélisation technique doit s'appuyer sur la manipulation des pièces et sur la schématisation, et « [*l'*] *on peut distinguer quatre niveaux opérationnels des modèles, qui correspondent par exemple dans le cas d'une machine, aux questionnements suivants : il s'agit de comprendre comment la construire, comment s'en servir, comment la réparer et comment elle fonctionne.* » (Peltier, 1992, p. 147). Cette remarque est corroborée par l'association faite dans des programmes de l'enseignement technique entre « *approche fonctionnelle [...] conduite selon la méthode d'analyse descendante* » et « *modélisation des activités des systèmes.* »

(Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, 1988, p. 143). Si l'on se réfère maintenant, pour la modélisation physique, au travail de S. Johsua et J.-J. Dupin, on se convaincra aisément que sous le nom de modélisation, ces auteurs désignent, par les questions qu'elle pose et auxquelles elle tente de répondre, une activité d'une toute autre nature que celle évoquée ci-dessus. L'activité de modélisation, dans l'exemple considéré, a pour objet d'établir une « *analogie formelle* » entre un phénomène inconnu du sujet, (la conduction électrique), et un phénomène connu (le déplacement d'un mobile sur un trajectoire) (Johsua & Dupin, 1988, p. 195).

Pour conclure, quand une même situation de départ est considérée sous des angles différents par le technologue et le physicien, son examen peut conduire à des problématiques distinctes. Nous ferons maintenant l'hypothèse que l'établissement, dans l'enseignement, d'une distinction explicite entre les problématiques correspondant aux deux points de vue précédents, est bénéfique pour l'apprentissage. Avant de discuter cette hypothèse nous examinons une tentative d'introduction de cette distinction, en analysant l'évolution des programmes de la classe de seconde de 1987 et 1992, dans la section suivante.

4. L'ÉVOLUTION DES PROGRAMMES DE PHYSIQUE DE LA CLASSE DE SECONDE, RELATIFS À L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ, DE 1987 À 1992

Les critères retenus pour identifier les problématiques dans lesquelles s'inscrivent les contenus des programmes, découlent directement de l'analyse précédente. Un premier critère est relatif à la terminologie utilisée pour définir les objectifs d'apprentissage. Si ces objectifs sont définis en termes d'analyse fonctionnelle d'un objet technique, la problématique mobilisée sera qualifiée de technologique même s'il s'agit officiellement d'un programme de « *physique* ». Inversement, si ces objectifs sont définis en termes d'identification de phénomènes, nous serons en présence d'une problématique scientifique, quel que soit le nom attribué au contenu d'enseignement. En dehors de ces critères directs, d'autres sont relatifs aux référents et aux outils de description et d'analyse utilisés par les différents acteurs dans la présentation des contenus. Si, par exemple, dans la présentation d'un dispositif, l'accent est mis sur les éléments qui le composent, rattachés explicitement ou non à la réalisation d'une fonction technique, nous considérerons que le cadre théorique mobilisé est celui de la technologie, même si cette présentation est faite à l'intérieur d'un programme de physique. Si, au contraire, l'accent est mis sur la recherche

des propriétés d'un ou plusieurs objets appartenant à ce dispositif et sur l'établissement des relations au sein de cet ensemble de propriétés, la problématique mise en oeuvre sera évidemment différente.

Nous analysons maintenant une première réforme qui, en 1987, consacre des dispositions anciennes et traduit la continuité puis une autre qui, en 1992, marque, au contraire, une rupture qui nous a semblé significative.

4.1. Le programme de 1987

Dans l'examen de ce document (Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, 1987a), nous retiendrons trois points : 1°) la dénomination de la matière enseignée, 2°) le domaine de référence (nous avons évité à dessein le terme de pratique de référence en raison de l'ambiguïté qui demeure sur la nature de l'enseignement dispensé) choisi pour l'enseignement de la matière électricité, 3°) le contenu proprement dit de l'activité proposée aux élèves. Pour ce qui est de la dénomination de la matière enseignée, il s'agit d'un enseignement de « *Physique* ». Le domaine de référence choisi pour l'enseignement de l'électricité est celui de l'électronique, même si cela n'est pas dit explicitement. Le dernier point du programme a d'ailleurs pour objet la « *réalisation d'un montage électronique* ». Le contenu proprement dit de l'activité proposée aux élèves est bien relatif, pour le premier point du programme, à des concepts physiques, intensité et tension, mais l'introduction de ces concepts est essentiellement empirique. Le deuxième point du programme est orienté explicitement vers l'étude de composants d'un circuit électronique désignés sous le terme générique de dipôle. La troisième partie, de loin la plus importante et déclarée « *essentielle* » par les auteurs, relève explicitement d'une initiation à l'électronique : « *III.1 Analyse de la structure d'un dispositif électronique et indications sur la fonction de ses différents sous-ensembles : capteurs, dispositifs électroniques et alimentation, sortie. III.2 Réalisation d'un montage simple utilisant un amplificateur opérationnel* ».

Le texte du commentaire développe ensuite les intentions des auteurs : « *La meilleure façon de la traiter [cette partie du programme] consiste à partir d'un montage complet, [...] réalisant une fonction globale [...] On analysera expérimentalement la fonction globale, puis les fonctions partielles des différents sous ensembles. En dehors des cours, les élèves seront invités à regarder comment les mêmes fonctions sont actuellement réalisées dans le monde technique qui les entoure : comment éventuellement elles ont été réalisées autrefois [...] Il faut que les élèves aient le sentiment que l'enseignement qui leur est proposé leur dévoilera un pan de la réalité*

technologique. [...] après l'étude fonctionnelle, le montage permettra d'introduire l'étude théorique d'une ou plusieurs fonctions particulières [...] L'attitude modeste qui consiste à ne connaître certaines parties d'un montage que par leur aspect fonctionnel n'est pas un renoncement. C'est au contraire, la démarche qui permet de réaliser un système à la fonction globale plus riche. »

Ainsi, sous le titre de « *Programme de physique* », les enseignants sont en fait incités à dévoiler aux élèves « *un pan de la réalité technologique* ». Il n'y a évidemment rien de répréhensible à vouloir initier les élèves de l'enseignement général à la technologie, mais pourquoi vouloir le faire sous couvert d'un enseignement de physique vidée de sa substance ? Cette attitude est d'autant plus surprenante qu'il existe ailleurs, au même moment, des enseignements explicites de technologie dans des classes de seconde (Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, 1987b) qui comportent une initiation théorique « *aux concepts structurels et fonctionnels qui régissent le fonctionnement des systèmes automatisés* » en totale conformité au titre du programme, « *Option technologie des systèmes automatisés* ». En outre (Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, 1987c), d'autres auteurs de programmes de physique, prennent la peine de désigner des « *capacités à développer par l'enseignement des sciences physiques* », très spécifiques de la discipline comme, par exemple, la capacité à « *observer, analyser un phénomène* », qui se traduit par ces productions des élèves : « *le nommer et le délimiter, décrire l'évolution éventuelle du phénomène, recenser les paramètres, choisir les paramètres pertinents, poser des hypothèses.* » La présentation de l'électricité en seconde en 1987 semble être ainsi un phénomène didactique très localisé comme le suggère l'examen des programmes de 1992.

4.2. La réforme des programmes de 1992

Nous passons en revue les mêmes rubriques que précédemment, en rappelant les éléments les plus significatifs du programme de 1987. Il s'agit toujours d'un enseignement de « **physique** ».

Domaine de référence	Le contenu de l'activité proposée aux élèves
1987 L'électronique	Concept d'intensité, de tension, notion de dipôle. Analyse structurelle et fonctionnelle d'un montage. Étude de la réalisation des fonctions.
1992 Toujours l'électronique, l'amplificateur opérationnel constitue, la 3 ^e partie du programme	Les premiers points, sont inchangés, à part la suppression du dipôle. Mais le long commentaire relatif à l'analyse structurelle et fonctionnelle d'un montage électronique a disparu. En contrepartie des objectifs d'apprentissage nouveaux sont clairement désignés :

L'élève doit savoir
« *Que deux points d'un circuit reliés par un fil de cuivre sont pratiquement au même potentiel.* » (Bulletin officiel de l'Éducation nationale, 1992, p. 84).

« *le professeur doit amener progressivement l'élève à l'acquisition, des capacités d'analyse, des concepts, des lois physiques et de l'utilisation des ordres de grandeurs* » et en caractères gras l'auteur indique que :
« **la physique conserve sa spécificité et reste différenciée de la technologie.** [...] À la fin de l'année, les élèves devraient avoir compris à la fois le fonctionnement d'objets techniques mais surtout **les lois physiques** [...] et leur caractère universel dégagé de l'objet. »
(Bulletin officiel de l'Éducation nationale, 1992, p. 76).

La remarque qui indique que deux fils de cuivre sont pratiquement au même potentiel semble s'appliquer très spécifiquement à l'électronique de faible puissance. On peut regretter que son domaine de validité ne soit pas précisé. Ce genre d'énoncé formulé sans restriction tend à accréditer l'idée d'une opposition absolue entre conducteur et résistance que nous avons évoquée plus haut. Il peut être mis en rapport avec la tendance de certains étudiants à considérer que la résistance d'un conducteur est nulle et que la section du conducteur n'a aucune influence sur le phénomène de conduction (voir la fin de la section 6 de cet article). En dehors de ce point précis, les modifications apportées en 1992 correspondent à un changement d'orientation et sont l'expression d'une volonté de clarification des objectifs respectifs de la physique et de la technologie. Ce sentiment est renforcé par l'examen du document d'accompagnement du programme.

Ce document est produit par le groupe technique de physique (1993). Les auteurs se situent en continuité avec l'orientation de 1987 : il faut montrer l'utilité de la physique : « *La référence à des objets ou à des dispositifs techniques dont on analyse le fonctionnement est destinée à montrer à quoi sert la physique.* », mais, en même temps, la volonté de distinguer cette activité d'un enseignement de physique est affirmée nettement : « *Il nous paraît important de préciser quel est le domaine de cet enseignement de technologie et de le situer par rapport à celui d'un enseignement de physique.* » (Groupe technique de physique, 1993, p. 7). Les auteurs précisent que l'analyse structurelle et l'analyse fonctionnelle des objets ne sont pas les objectifs du physicien ; pour le professeur de physique : « **la maîtrise des concepts et des lois est toujours l'objectif à atteindre.** » (Groupe technique de physique, 1993, p. 7). Ce texte contredit ainsi totalement le commentaire du programme de 1987 qui ne faisait aucune distinction entre enseignement de physique et de technologie. Les compétences propres à la physique reprennent une place prépondérante dans les objectifs d'un enseignement qui est officiellement consacré à cette discipline. Une ouverture sur la technologie n'est pas exclue, mais on précise que l'objectif visé dans ce cas est de : « *montrer à quoi sert la physique* », et que les compétences spécifiques à cet autre domaine ne sont pas celles de la physique. La distinction entre une point de vue focalisé sur l'objet d'un

côté, et un autre sur : « **les lois physiques [...] et leur caractère universel dégagé de l'objet.** » (Bulletin officiel de l'Éducation nationale, 1992, p. 76) est claire, et en accord avec les observations faites plus haut à propos du problème des courants dérivés.

En conclusion il nous semble que la volonté de clarification des auteurs de la réforme de 1992 n'a pas connu la diffusion qu'elle méritait. Nous souhaitons maintenant montrer sur un exemple comment s'est traduite la confusion qui a précédé la clarification voulue par les auteurs de la réforme de 1992, au niveau du savoir enseigné effectivement aux élèves.

5. UN EXEMPLE DE CONFUSION ENTRE PHYSIQUE ET TECHNOLOGIE AU NIVEAU DU SAVOIR ENSEIGNÉ

Nous nous référons à un ouvrage de deux enseignants qui définissent le contenu de l'enseignement des circuits électriques par ce qu'ils appellent le « *modèle de l'électrocinétique* ». (Robardet & Guillaud, 1993). Ce « *modèle de l'électrocinétique* » comprend trois parties :

– 1 – un schéma technique du circuit électrique de référence comprenant trois composants (générateur, résistors, fils de liaison) ;

– 2 – sous l'intitulé de « *relations sémantiques* », des définitions terminologiques, celles de noeud et de branche d'un circuit, de courant électrique, puis de trois grandeurs : « *On désigne par intensité I [...] une grandeur qui représente le débit des charges électriques.* » ; « *On appelle force électromotrice E [...] une grandeur qui représente le pouvoir du générateur à mettre en circulation les charges électriques.* » ; « *On appelle résistance R [...] une grandeur qui représente la difficulté de passage des charges mobiles à travers un résistor [...]* » ;

– 3 – sous l'intitulé de « *relations syntaxiques* », quatre règles, les deux premières concernent le calcul de « *La résistance équivalente R, à deux résistors* » montés soit en série, soit en parallèle, une troisième stipule que l'intensité est la même en tous les points d'une branche, la dernière énonce la relation quantitative reliant la f.e.m. l'intensité et la résistance : $E = R I$.

Il n'est pas surprenant de retrouver dans cet exemple, la contradiction signalée plus haut dans le programme de 1987, entre la dénomination de modélisation physique donnée à cette activité, et son contenu effectif qui, comme nous allons essayer de le montrer, relève plutôt de la technologie.

La terminologie choisie par les auteurs, qui fait mention d'un certain nombre de « *grandeurs* », renvoie également à la modélisation physique. Cependant, ce terme de « *grandeur* », qui ne porte pas ici explicitement l'épithète physique est ambigu, par l'usage qui en est fait. Pour lever l'ambiguïté nous pouvons appliquer ici l'un des critères que nous avons proposés plus haut, relatif à la construction du sens en physique. En effet, la définition des grandeurs qui interviennent dans le « *modèle* », relève précisément, pour les auteurs, de la sémantique. En physique, les concepts fondamentaux, qui traduisent à eux seuls un « pan de théorie », c'est le cas entre autres de l'entropie en thermodynamique, ne sont pas définis immédiatement par référence à une entité empirique, à un objet matériel, ou même à une propriété unique de l'un de ces objets. Ils sont insérés dans une structure théorique, dans un réseau de relations avec d'autres concepts qui caractérisent un ensemble de propriétés et c'est l'ensemble lui-même, à supposer qu'il soit complet, et non chacun de ses éléments pris isolément, qui est référé à un phénomène physique déterminé et permet d'identifier ce phénomène. Pour reprendre la terminologie de Cassirer (1970), ces concepts sont des concepts de « *nature relationnelle* ». La grandeur physique, conductance électrique, nous l'avons montré plus haut et également dans un travail antérieur (Viard & Khantine-Langlois, 2001), est le prototype même du concept relationnel. Elle traduit l'ensemble complet des relations entre l'intensité du courant électrique et les autres grandeurs qui caractérisent le phénomène de conduction (section, longueur, conductivité du conducteur) dans des conditions données. Ici, dans le modèle du circuit électrique qui nous est proposé, les définitions des « *grandeurs* » introduites ne renvoient pas à d'autres grandeurs, sauf pour l'intensité. Ces définitions font référence directement aux composants du circuit (générateur, résistor). Chaque composant, à son tour, joue un rôle dans le fonctionnement du circuit, qui est spécifié dans les définitions accompagnant le schéma, citées plus haut en référence : le générateur met les charges en mouvement, le résistor résiste au mouvement des charges et le fil de liaison transmet le potentiel sans aucun affaiblissement. Le terme de « *grandeur* », dans ce cas, ne désigne pas un concept physique, mais la contribution de chaque composant à la réalisation d'une fonctionnalité globale. Cette contribution désigne en fait implicitement la « fonction technique » du composant au sein d'un ensemble fonctionnel plus complexe. En particulier, la « *résistance [...] qui représente la difficulté de passage des charges à travers le résistor* » (Robardet & Guillaud, 1993, p. 86), s'identifie avec la fonction de résister du résistor. En définitive, la volonté de distinguer le composant et la fonction par deux termes distincts (résistance, résistor) n'a plus de raison d'être. Ce point est corroboré par le fait que les significations des deux termes sont parfois confondues comme en atteste leur emploi dans certaines phrases : la « *résistance R* » est ainsi

déclarée « *équivalente à deux résistors* », (Robardet & Guillaud, 1993, p. 86) et non pas à la résistance du circuit constitué par les deux résistors.

On remarquera également que la propriété de résistance est présentée indépendamment des autres propriétés de l'objet et, notamment, de sa géométrie. Celle-ci n'est définie qu'implicitement par référence à l'objet. Chez certains auteurs, l'élimination de la géométrie est explicite : « *Un modèle circulatoire acceptable à cette étape pourrait être formulé comme suit " La résistance est la propriété des matériaux qui indique le degré de difficulté qu'ils présentent à la circulation du courant. La valeur du courant dans un circuit est déterminée par la tension et la résistance [...]"* » (Koumaras et al., 1994, p. 116).

En remplaçant, dans la première phrase de cette citation, le mot de résistance par celui de résistivité nous obtiendrions une définition tout à fait satisfaisante de ce terme. Mais la substitution, dans la deuxième phrase, du terme de résistivité à celui de résistance serait inacceptable, car la résistance d'un élément de circuit, à la différence de la résistivité, dépend, elle, de la géométrie du matériau. La conduction n'est pas un phénomène purement linéaire, ce phénomène a une extension spatiale. Confondre résistance et résistivité, comme le font les derniers auteurs cités, revient donc à exclure explicitement la géométrie des propriétés qui définissent la conduction électrique. Cette exclusion, assumée par les auteurs, est justifiée, selon eux, par le fait que la dépendance inverse de la résistance envers la section du conducteur est contre-intuitive pour les élèves. Ces mêmes auteurs affirment, en se référant, entre autres, à une étude antérieure à la leur, que : « *Même après enseignement, les élèves considèrent que la résistance d'un conducteur est proportionnelle à sa section transversale (Johnstone & Mughol, 1978).* » (Koumaras et al., 1994, p. 112). En fait, une lecture attentive de l'article de Johnstone & Mughol, cité par Koumaras et al., révèle, tout au contraire, une efficacité manifeste de l'enseignement sur ce point précis de l'apprentissage de la décroissance de la résistance avec la section du conducteur. Après trois années d'enseignement le pourcentage d'élèves qui répondent que la résistance est inversement proportionnelle à la section du conducteur passe de 25 à 69.

Le choix didactique des auteurs précédents, qui consiste à éliminer la géométrie de l'étude de la conduction électrique proposée aux élèves, se révèle très discutable, et, comme nous l'avons déjà signalé (Viard & Khantine-Langlois, 2001), certaines des conséquences de ce choix semblent avoir échappé à leurs auteurs. En effet, la description de conduction électrique est caractérisée non par une propriété unique mais par un ensemble de propriétés qui comprend, outre la résistivité, la longueur et l'épaisseur qui décrivent l'extension spatiale de la conduction. La complétude dans l'inventaire des propriétés physiques joue un rôle décisif dans

l'identification des phénomènes qui est l'un des premiers objets de la physique. La réduction d'une étude phénoménologique à une propriété unique conduit souvent à des erreurs d'identification ainsi la supra conductivité n'a été vraiment identifiée que lorsque, à la reconnaissance de la propriété de résistivité nulle, a été adjointe, beaucoup plus tard, celle des propriétés magnétique et thermodynamique (Matricon & Waysand, 1994). De même la prise en compte des propriétés spatiales est déterminante dans la description de la conduction électrique. Éliminer la géométrie revient ainsi à créer, pour le futur étudiant, de sérieux obstacles à l'apprentissage de la conduction électrique, sans que le gain temporaire réalisé ne soit substantiel. Si l'on veut éliminer l'obstacle constitué par le terme de résistance pour certains élèves, il est préférable, tant qu'à faire, de supprimer son emploi de la première phase de l'enseignement de l'électricité, comme le suggèrent Johnstone et Mughol (1978), en raisonnant dès le début en termes de conductance.

Pour résumer l'évolution de la présentation des circuits électriques depuis les débuts de leur enseignement jusqu'à nos jours, nous pouvons dire que l'analyse physique de la conduction électrique a fait place à une analyse fonctionnelle calquée sur une analyse structurelle. Cette modification des points de vue a pour corollaire celle de la représentation graphique. La figure 1 est un schéma, la figure 2 inspirée d'un ancien traité est un dessin représentant des fils – il en sera ainsi jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle (Branly, 1898) et bien au delà, tant qu'on en restera à une analyse phénoménologique en termes de courants. Le dessin est neutre, il ne prend pas parti pour une interprétation ou une autre ; il évoque l'objet qui peut être également considéré aussi bien comme le siège du phénomène physique analysé ou comme un dispositif technique. Le schéma élimine les propriétés physiques (les fils n'ont plus d'épaisseur, de longueur déterminée) pour symboliser une fonction. Les difficultés de certains étudiants, évoquées dans la section 1, peuvent désormais être interprétées en partie par l'élimination de l'analyse physique de la situation proposée.

6. RETOUR SUR LES DIFFICULTÉS DES ÉTUDIANTS, QUELQUES ÉLÉMENTS DE VÉRIFICATION DE L'INTERPRÉTATION PROPOSÉE

Une première difficulté est d'ordre sémantique, elle réside dans l'impossibilité, pour des étudiants, d'attribuer un sens à la diminution de résistance occasionnée par la mise en parallèle de deux conducteurs. Cette difficulté est liée, de notre point de vue, au fait que l'enseignement dispensé ne fournit plus le cadre théorique nécessaire à l'interprétation physique du phénomène précédent. Une portion de circuit électrique devient ainsi une

boite noire interdisant tout accès, pour les élèves, au phénomène de conduction électrique dont il est le siège et par suite à sa théorisation en termes de propriétés et de relations entre ces propriétés. Nous avons vu que c'est précisément la référence à ce phénomène qui permettait de résoudre le problème de la signification à donner à l'association des composants. C'est la dépendance inversement proportionnelle de la résistance à l'égard de la section qui permet d'interpréter le fait que la résistance équivalente à celle du circuit constitué par deux « résistances » en parallèle est plus faible que la résistance de l'une d'entre elles. Mais le rôle joué par cette propriété géométrique dans la conduction de l'électricité est non seulement masqué mais contredit par la description et la symbolisation technique. Les fils de liaison sont dépourvus de toute épaisseur et leur conductivité est infinie, la résistance au contraire est un rectangle épais et a la fonction de limiter le courant. Les propriétés suggérées par la symbolisation fonctionnelle sont en contradiction avec les propriétés physiques pertinentes pour décrire la conduction électrique.

La deuxième difficulté est d'ordre logique et structurel. Elle a trait aux règles qui régissent l'emploi des éléments symboliques. Si l'analyse en termes de concepts physiques est graduelle (il y a des degrés dans la conduction et l'on peut passer continûment d'un corps isolant à un corps conducteur), l'analyse fonctionnelle procède par saut. Les fonctions sont mutuellement exclusives les unes des autres, en particulier les fonctions de « résistance » et de « conductance ». Ainsi, dans le « modèle fonctionnel », on passe brusquement de fils de liaison purement conducteurs à des résistors purement résistifs. L'une des difficultés rencontrées par les étudiants réside dans cette exclusion fonctionnelle. La solution du problème exigeait de considérer que l'adjonction d'une résistance en parallèle conduit à un accroissement de la conductance de l'ensemble formé. En termes de fonctions exclusives cet énoncé est une contradiction logique, un non sens. L'ajout de deux résistances ne peut produire de la conductance. En termes de concepts physiques graduels, au contraire, si la « résistance » ou le « résistor » est aussi un conducteur, il n'y a plus aucune contradiction à affirmer que l'ajout de deux « résistances/conductances » donne, dans certains cas, une plus grande conductance. La métonymie qui consiste à désigner un objet résistant par le substantif résistance ne constitue plus un obstacle parce que l'on sait qu'il s'agit là précisément d'un raccourci utilisé pour désigner un conducteur plus résistant qu'un autre.

Lorsque nous avons énoncé cette interprétation de l'origine des difficultés rencontrées par des étudiants dans le problème de l'association de résistances en parallèle en termes de substitution de fonctions techniques à des concepts physiques, il ne s'agissait que d'une analyse *a priori* fondée sur les arguments qui viennent d'être exposés. Nous ne disposions pas d'éléments expérimentaux nous confirmant que les étudiants percevaient

le circuit électrique essentiellement comme un dispositif technique plutôt que comme le siège d'un phénomène physique. Nous avons cependant prévu que, si c'était bien le cas, cette situation devrait avoir d'autres conséquences que la seule difficulté rencontrée dans l'interprétation de l'association de deux résistances en parallèle. En prolongeant l'analyse précédente, les fils de liaison devaient logiquement être considérés par les étudiants comme des éléments de résistance rigoureusement nulle ou de conductivité infinie. Le fait qu'un fil soit déclaré conducteur implique, en effet, que sa faculté de conduire soit sans limites et, par conséquent, si la conductivité est infinie, la conduction sera indépendante des autres propriétés de ce fil, en particulier de sa section. Cette dernière prédiction a été vérifiée involontairement lors de l'évaluation de l'appropriation du concept de résistance électrique par des étudiants. Nous avons posé la question suivante : « *Une tension déterminée est appliquée aux extrémités d'un conducteur cylindrique. On double ensuite la section du conducteur en maintenant la tension identique. Cette modification a-t-elle un effet ou non sur la conduction ? Si oui lequel ? Justifiez votre réponse en indiquant comment vous pourriez vérifier ce que vous affirmez.* »

Nous avons eu la surprise d'obtenir de deux étudiants les réponses suivantes :

– 1 – « *Conducteur : si on double la section, il n'y a aucun effet sur la conduction. La résistance est nulle, si on double la section, la résistance sera toujours nulle. La conduction est infinie dans les deux cas.* » ;

– 2 – « *Non car la résistance du fil est en général négligeable. Donc aucun effet.* »

Ces deux réponses, sans apporter une entière confirmation de l'interprétation proposée des difficultés rencontrées par les étudiants, la rendent du moins très plausible pour certains d'entre eux.

CONCLUSION

Au terme de cette analyse, la volonté affirmée par des auteurs de programme de préserver la spécificité de la physique et de la technologie dans l'enseignement apparaît éminemment souhaitable et dans l'intérêt de chacune de ces disciplines. Pour prolonger certaines des justifications de l'enseignement de la physique proposées par les auteurs précédents, il apparaît possible de « *montrer à quoi sert la physique* » non seulement en s'appuyant sur le fait qu'elle est à l'origine de dispositifs techniques reposant sur ses principes, mais aussi en indiquant que la description de ces dispositifs en termes seulement structurels et fonctionnels ne permet pas de

comprendre leur fonctionnement. Dans ce cas, la référence à la théorie physique trouve sa justification, non plus dans la seule volonté proclamée d'enseigner la physique pour elle-même, mais dans sa capacité à résoudre des problèmes qui se posent en dehors d'elle. Ce point de vue illustre une manière complémentaire de concevoir les rapports entre science et technologie qui conserve toute son actualité : « *La science correspond à une problématique formulée au niveau des techniques et qui ne trouve pas de solution au niveau technique* » (Simondon, 1969, p. 246).

L'existence d'enseignements spécifiques de technologie dans l'enseignement général pourrait être l'occasion de la prise de conscience de la spécificité des disciplines technologiques par les enseignants des disciplines scientifiques dans la mesure où ces « nouveaux » enseignements fournissent une référence pour cette distinction. Cela suppose que le processus de clarification, entrepris au niveau des contenus et évoqué plus haut, soit mené à son terme.

Un prolongement « naturel » de la recherche précédente consistait à mettre en place des situations d'enseignement fondées sur une modélisation physique de la conduction électrique en termes de conductance afin de tester la faisabilité d'une autre présentation de l'électricité que celle qui a cours actuellement à un niveau élémentaire. Une première tentative en ce sens a eu lieu dans le cadre d'un enseignement de lycée professionnel et a donné des résultats encourageants. Un prolongement de cette tentative pourrait être, à l'occasion de la mise en place de ces enseignements, d'évaluer l'aptitude des élèves à intégrer des savoirs de types différents tout en les distinguant.

BIBLIOGRAPHIE

- BECQUERELA. (1826). Du Pouvoir conducteur de l'Électricité dans les métaux, et de l'Intensité de la force électrodynamique en un point quelconque d'un fil métallique qui joint les deux extrémités d'une pile. *Annales de Chimie et de Physique*, n° 32, pp. 420-430.
- BRANLY E. (1898). *Cours élémentaire de Physique*. Paris, Librairie Ch. Poussielgue.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1987a). Sciences Physiques et Chimiques. *Bulletin Officiel Spécial*, 3-9 juillet. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1987b). Les options technologiques de la classe de seconde. *Bulletin Officiel Spécial n° 1*, 5 février. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1987c). Sciences Physiques. *Bulletin Officiel Spécial*, n° 6, 10 septembre. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1988). Électronique. Électrotechnique. *Supplément au n° 18*, 12 mai. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). Physique – Chimie. *Bulletin Officiel*, numéro hors série du 24 septembre. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.

- CALMETTES B. (1996). *Contribution à l'étude des curriculums. Le cas de l'enseignement de l'électrotechnique dans les classes du second degré des Lycées d'Enseignement Général et Technologique*. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- CASSIRER E. (1970). *Substance et fonction. Éléments pour une théorie du Concept*. Paris, Les Éditions de Minuit.
- CLOSSET J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.
- COMMISSION PERMANENTE DE RÉFLEXION SUR L'ENSEIGNEMENT DE LA TECHNOLOGIE (1986). Propositions de la commission permanente de réflexion sur l'enseignement de la technologie. In *Technologie. Textes de Référence*. Sèvres, Centre international d'études pédagogiques, pp. 2- 48.
- D'ALEMBERT J. (1744). *Traité sur l'Équilibre et le Mouvement des Fluides*. Paris, David.
- D'ALEMBERT J. (1756). Expérimental. In D. Diderot & J. D'Alembert (Éds), *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, vol. VI*. Paris, Briasson, David, Le Breton, Durand, pp. 298-301.
- D'ALEMBERT J. (1765). Physique. In D. Diderot & J. D'Alembert (Éds), *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, vol. XII*. Paris, Briasson, David, Le Breton, Durand, pp. 539-540.
- DIRAND B., LEGOIX J. & PAUL J.-C. (1981). *Physique 2^{de}*. Paris, Bordas.
- DOUADY R. (1986). Dialectique outil objet. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 7, n° 2, pp. 5-31.
- DRYE E. (1993). *Histoire des techniques de l'an mil à nos jours*. Paris, Hatier.
- DUREY A. & VÉRILLON P. (1996). Appel à contribution, l'enseignement de la technologie. *Aster*, n° 23.
- FEYNMANN R. (1985). *Vous voulez rire monsieur Feynman ! Entretiens avec Ralph Leighton*. Paris, InterÉditions.
- GENTRIC R., DAHRINGER F., ÉTIENNE M., LE HÉTET-GUIHEUX G., MARIGNY F. & POUILLAIN L. (1993). *Physique seconde*. Paris, Hatier.
- GRAETZ L. (1911). *L'électricité et ses applications*. Paris, Masson.
- GROUPE TECHNIQUE DE PHYSIQUE (1993). *Document d'accompagnement du programme de physique de la classe de seconde*. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale et de la Culture.
- GUILLERME J. (1995). Technologie. In *Encyclopædia Universalis*. Paris, pp. 132-135.
- GURREY B. (1999). L'université ne parvient pas à attirer les étudiants en sciences. *Le Monde*, 15 octobre.
- HOSTEIN B. & LEBRUN M. (1992). Apprendre à modéliser en sciences et techniques. In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds), *Actes des XIV^{es} Journées internationales sur l'éducation scientifique, Chamonix*. Paris, Université de Paris Sud, pp. 143-146.
- HOTTOIS G. (1993). *Simondon et la philosophie de la culture technique*. Bruxelles, De Boeck-Wesmael.
- JOHNSTONE A.H. & MUGHOL A.R. (1978). The concept of electrical resistance. *Physics education*, vol. 13, n° 1, pp. 46-49.
- 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 & M. Hulin (Éds), *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques. Actes du colloque de Sèvres, mai 1987. Greco didactique CNRS*. Grenoble, La Pensée sauvage, pp. 185-199.

- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- KHANTINE-LANGLOIS F. & VIARD J. (1992). Raisonnement qualitatif et raisonnement algébrique dans la résolution de deux problèmes d'électrocinétique. In J.-M. Dusseau (Éd.), *Actes du II^e séminaire de recherche en didactique des Sciences physiques, Sète, 18-20 octobre*. Montpellier, IUFM de l'académie de Montpellier, pp. 11-22.
- KHANTINE-LANGLOIS F. & VIARD J. (1997). La présentation actuelle de la résistance électrique dans l'enseignement secondaire peut-elle expliquer les difficultés de certains étudiants face à ce concept ? In F. Khantine-Langlois & V. Mafféo (Éds), *Actes du V^e séminaire national de recherche en didactique des Sciences Physiques*. Lyon, Université Claude Bernard-Lyon 1, pp. 214-221.
- KOUMARAS P., KARIOTOGLOU P. & PSILLOS D. (1994). Devons-nous utiliser des phénomènes évolutifs en introduction à l'étude de l'électricité ? Le cas de la résistance. *Didaskalia*, n° 4, pp. 107-120.
- LAMÉ G. (1840). *Cours de Physique de l'École polytechnique, tome 3*. Paris, Bachelier.
- LEBEAUME J. (1996). Une discipline à la recherche d'elle-même : 30 ans de technologie au collège. *Aster*, n° 23, pp. 9-41.
- MARIOTTE E. (1992). *Essay de Logique contenant les principes des sciences, et la manière de s'en servir pour faire de bons raisonnements*. Paris, Fayard.
- MATRICON J. & WAYSAND G. (1994). *La guerre du froid. Une histoire de la supra conductivité*. Paris, Seuil.
- Mc DERMOTT L. & SCHAFFER P. (1992). Research as a guide for curriculum development : An example from introductory electricity. Part I : Investigation of students understanding. *American Journal of Physics*, vol. 60, n° 11, pp. 994-1003.
- OHM G.S. (1860). *Théorie Mathématique des Courants Électriques*. Paris, Hachette.
- PELTIER E. (1992). Compte rendu de l'atelier : Apprendre à modéliser en sciences et techniques. In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds), *Actes des XIV^{es} Journées internationales sur l'éducation scientifique, Chamonix*. Paris, Université de Paris Sud, pp. 147-148.
- POUILLET C.S.M. (1837). *Éléments de Physique expérimentale et de Météorologie*. Paris, Béchet Jeune.
- ROBARDET G. & GUILLAUD J.-C. (1993). *Éléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques*. Grenoble, IUFM de Grenoble.
- ROBERT P. (1976). *Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*. Paris, Société du nouveau Littre.
- SCHAGRIN M.L. (1963). Resistance to Ohm's Law. *American Journal of Physics*, vol. 31, pp. 536-547.
- SÉRIS J.-P. (1994). *La technique*. Paris, PUF.
- SIMONDON G. (1969). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris, Aubier.
- STIEGLER B. (1994). La maïeutique de l'objet comme organisation de l'inorganique. In Bibliothèque du collège international de philosophie, *Gilbert Simondon. Une pensée de l'individuation et de la technique*. Paris, Albin Michel, pp. 239-264.
- VIARD J. (1995). Éléments pour l'établissement d'une distinction entre physique et technologie à travers leur mise en oeuvre dans une résolution de problèmes. In G. Arsac, J. Gréa, D. Grenier & A. Tiberghien (Éds), *Différents types de savoir et leur articulation*. Grenoble, La Pensée sauvage, pp. 59-79.
- VIARD J. & KHANTINE-LANGLOIS F. (2001). The Concept of Electrical Resistance : from Students' Difficulties to the Early Developments of Electric Circuits Theory and Today's Physics education. *Science & Education*, vol. 10, pp. 267-286.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier ceux des relecteurs de ce texte, et particulièrement, l'un d'entre eux, qui ont permis, par leurs suggestions, d'améliorer sensiblement la version initiale de l'article. Bernard Calmettes nous a fourni plusieurs références, qu'il en soit également remercié.

Cet article a été reçu le 02/02/1999 et accepté le 23/10/2001.

Un premier aperçu sur l'extension du concept d'objet technique chez les collégiens

First outline about how pupils extend the concept of artefact

Colette ANDREUCCI

INRP et IUFM-UNIMECA
Technopôle de Château Gombert
60 rue Joliot Curie
13453 Marseille cedex 13, France.

Jacques GINESTIÉ

IUFM d'Aix-Marseille et IUFM-UNIMECA
Technopôle de Château Gombert
60 rue Joliot Curie
13453 Marseille cedex 13, France.

Résumé

La compréhension du monde des objets techniques figure en bonne place dans les programmes d'éducation technologique que ce soit au collège en France ou dans de nombreux curriculum étrangers. Cet article a pour objet d'analyser ce que le concept d'objet technique englobe dans l'esprit des élèves de collège. Les résultats montrent une appréhension limitée du concept qui tend à se renforcer avec l'âge. On assiste à une naturalisation

croissante des réalisations techniques correspondant à tous les secteurs de production que le curriculum scolaire ignore.

Mots clés : *objet technique, concept, compréhension, artificiel, éducation technologique.*

Abstract

A lot of curricula of technology education give a large place to the understanding of technical objects. It is the case of the French one at the middle age school. The goal of this paper is to analyse which meaning is given by pupils to this concept. The results show that this concept becomes more restrictive with age, between twelve and fifteen. We could observe that artefacts out of the French curriculum of technology education are more and more naturalised by pupils.

Key words : *technical object, concept, understanding, artefact, technology education.*

Resumen

La comprensión del mundo de los objetos técnicos tiene una buena place en los programas de educación tecnológica en las escuelas medias en Francia o en numerosos currículos extranjeros. El objeto de este artículo es de analizar lo que los alumnos dan como significación a este concepto de objeto técnico. Los resultados enseñan una aprehensión limitada del concepto que se fortalece con edad, entre once y quince. Asistimos a una naturalización creciente de las realizaciones técnicas en todos los sectores de producción non incluidos en el currículo.

Palabras claves : *objeto técnico, concepto, comprensión, artificial, educación tecnológica.*

1. INTRODUCTION

Comme l'écrit Séris (1994) est technique tout objet qui porte derrière lui une technique, ce qu'on se bornera ici à définir en tant que « *manière de faire éprouvée en vue de l'atteinte d'un but pré-établi* ». Mauss (1936, 1948) et Haudricourt (1964) définissaient la technique plus simplement encore à l'aide de trois mots en parlant « *d'actes traditionnels efficaces* » pour insister, comme l'a souligné plus récemment Sigaut (1990) sur le fait qu'il n'y a pas de technique sans transmission, donc sans tradition, et pas de technique non plus sans effet matériel sensible. En tant que fabrication humaine, en

tant qu'objet dont le « *mode d'existence* » (Simondon, 1989) paraît s'imposer du dehors pour le sujet, l'idée première d'objet technique peut donc sembler sans ambiguïté. Une définition « *opératoire* » (Cazenobe, 1987) est loin pourtant d'être évidente dès que les critères de matérialité, de causalité et de finalité cessent d'être solidaires les uns des autres ou dès que l'on se refuse à détacher l'objet matériel du fonds humain dans lequel il s'inscrit (Akrich, 1987). Que cela soit à première vue ou à la réflexion, l'objet technique est donc, quoi qu'il en soit, le cerisier greffé, la commode estampillée, la baguette de pain, l'ordinateur, bref tout objet dont le sujet *sait*¹ qu'il doit sa structure à une fonction ou ses propriétés singulières à la mise en œuvre de savoir-faire organisés en fonction d'une intentionnalité.

Ainsi définie, on comprend que l'extension que revêt le concept d'objet technique rende cependant en soi bien peu opérante *a priori*, si ce n'est démesurément ambitieuse, l'intentionnalité globale qui assigne à l'éducation technologique (Deforge, 1993 ; Lebeaume & Martinand, 1998 ; Lebeaume, 2000 ; Martinand, 1986) la mission de favoriser une meilleure compréhension ou intelligibilité de l'environnement technique. Les reliques du passé qu'on conserve précieusement chez soi (le service de Limoges de la grand-mère ou les disques vinyles qui, bien que plus proches, n'en sont pas moins aussi et déjà des antiquités pour la jeune génération) comme les objets « vache folle », « maïs transgénique » ou les représentants emblématiques des nouvelles technologies seraient, de fait, légitimement en mesure de figurer parmi les supports ou les objets d'étude de l'éducation technologique.

Il faut donc dépasser le niveau des finalités globales et rentrer dans le détail des programmes, voire dans l'analyse des manuels, pour prendre la mesure de la réduction drastique à laquelle l'école se voit contrainte de ramener la notion d'environnement technique. Sitôt franchi le cap de l'école primaire (où le registre de la sphère domestique est encore sollicité²) seul demeure, à partir du collège, l'univers de référence que constitue la sphère industrielle. Du champ de l'étude se trouvent ainsi exclues (hormis les techniques artistiques qui sont prises en charge par ailleurs) toutes les techniques artisanales voire les techniques industrielles qui ont derrière elles un long passé (que l'on pense, puisque l'on est en Provence, à la fabrication des produits d'usage courant que sont l'huile et le savon).

À l'intérieur même de la référence que constitue l'industrie, il est clair en outre que le parti a été pris de privilégier certains secteurs par rapport à d'autres. Le propos de l'article ne vise pas à contester la nécessité

1 Il s'agit bien d'une construction : pour celui qui ignore que le greffage constitue une technique, le cerisier greffé ne se distinguera pas du cerisier sauvage.

2 Mais où les professeurs les mieux attentionnés ont bien du mal à construire des activités à caractère technologique (Chatoney, 1999).

d'opérer des choix dans cet univers extrêmement dense et hétéroclite. On pourrait simplement regretter que les programmes reflètent en cela des décisions qui, nulle part, n'apparaissent clairement explicitées et justifiées. On pourrait également déplorer que ces choix soient opérés une fois pour toutes quand la longueur du cursus pourrait, au contraire, se prêter à une diversification progressive du champ et une graduation du niveau de complexité des techniques étudiées.

On commencerait alors par s'employer à donner aux enfants une idée de la technicité (Combarous, 1984) requise par la production des objets familiers qu'ils croient le mieux connaître (les poissons « carrés », la mayonnaise en tube, etc.), au point qu'ils leur semblent « naturels » et ne suscitent guère chez eux d'interrogation. Et ce n'est qu'ensuite que l'étude viendrait porter sur des objets dont le caractère hautement technique ne fait pas de doute pour eux bien que leur compréhension en soit difficilement accessible – (par exemple les systèmes automatisés – (Ginestié, 1992 ; Andreucci, 1993).

Cet article a pour but d'apporter quelques premiers éléments propres à susciter le débat en allant regarder comment les collégiens appréhendent ce concept d'objet technique. Il nous semble intéressant de voir comment ils attribuent le caractère technique à la notion d'artifice humain et, partant de là, de voir si cette notion gagne en compréhension et en extension avec l'âge.

2. MÉTHODE

L'enquête à caractère exploratoire a été conduite par questionnaires dans des conditions standardisées. La passation a eu lieu en classe en début de troisième trimestre. Elle s'est déroulée sans aucune aide extérieure apportée aux élèves. Ils ont disposé de trente minutes pour répondre à un questionnaire comportant six items principaux (voir en annexe).

Les deux premiers invitaient les élèves à fournir trois noms d'objets non techniques puis trois noms d'objets techniques afin de voir ce qu'ils catégorisent spontanément sous les registres concernés.

Les questions suivantes avaient pour but de déterminer ce que recouvre la notion d'objet technique dans les différents contextes que représentent les principales matières scolaires enseignées à l'école (item 3), les diverses pièces d'une habitation (item 4), l'environnement extérieur en général (item 5).

Dans le dernier item les sujets étaient invités à classer en tant que techniques ou non techniques cinquante six objets, tout en ayant la possibilité d'opter pour la réponse « j'hésite » en cas de doute. La liste a été constituée

de telle sorte qu'il y figure des représentants contrastés de diverses catégories d'objets techniques (aliments, meubles, jouets, vêtements, véhicules, outils graphiques, etc.) La classe des outils est par exemple représentée par les termes perceuse électrique et scie à main, celles des édifices par les termes igloo, cathédrale et usine, celle des ustensiles de cuisine par les objets casserole et friteuse électrique, celle des aliments par les entités baguette de pain, sucre, hamburger, plat surgelé, celle des vêtements par les objets jean et pull fait main, etc.

L'enquête a été réalisée en 1997 auprès de 85 collégiens répartis comme indiqué dans le tableau 1.

	6 ^e (12 ans)	5 ^e (13 ans)	4 ^e (14 ans)	3 ^e (15 ans)	Total
Garçons	10	7	13	18	48
Filles	8	7	13	9	37
Total	18	14	26	27	85

Tableau 1 : Répartition des sujets interrogés

3. RÉSULTATS

3.1. Les objets considérés comme non techniques

La question posée invitait les élèves à nommer trois objets non techniques. Les réponses, d'abord dichotomisées en technique et non technique, sont présentées dans le tableau 2.

		Objets non techniques	Objets techniques	Non réponses	Total
6 ^e	Garçons	2	7	1	10
	Filles	0	5	3	8
5 ^e	Garçons	0	7	0	7
	Filles	0	7	0	7
4 ^e	Garçons	0	12	1	13
	Filles	0	13	0	13
3 ^e	Garçons	1	17	0	18
	Filles	2	7	0	9
Total	Garçons	3	43	2	48
	Filles	2	32	3	37
Ensemble		5	75	5	85

Tableau 2 : Répartition des propositions des élèves

Les résultats à ce premier item montrent que pratiquement tous les collégiens pensent connaître suffisamment de représentants d'objets non techniques pour en citer au minimum trois. En revanche, l'analyse du contenu de ces réponses révèle que la quasi totalité des élèves, quels que soient leur âge et leur sexe, prennent pour des objets non techniques des objets qui en fait le sont. C'est chez les élèves de 6^e que cette tendance est la moins massive puisque un tiers d'entre eux soit propose des objets non techniques, soit semble embarrassé pour répondre.

Quels sont ces artefacts que les élèves ont ainsi tendance à exclure spontanément de la sphère des objets techniques ? L'analyse qualitative des réponses montre qu'il s'agit prioritairement (52 % des réponses) d'objets appartenant à la catégorie du matériel scolaire (livre, cahier, stylo, règle, cartable, etc.) On peut tout aussi bien y voir l'influence du contexte de la passation (réalisée en classe) que le signe d'une « *naturalisation* », chez l'écopier, des instruments techniques qui lui sont le plus familiers, à savoir ses propres outils de travail. Toutes les autres catégories représentées dans ces réponses, telles que les meubles (environ 16 %), les produits alimentaires (6 %), les vêtements (6 %), les outils manuels (5 %) et les ustensiles ménagers (5 %), apparaissent nettement plus rarement.

3.2. Les représentants les plus prégnants de la notion d'objet technique

Seulement cinq élèves n'ont pas répondu à la question. Tous les autres ont cité trois noms d'objets techniques ainsi qu'ils étaient invités à le faire. On note que la catégorie du matériel informatique arrive nettement en tête (48 % des réponses). Visiblement, l'ordinateur représente pour les élèves l'élément le plus prototypique de la classe des objets techniques. Les deux autres classes formées par le matériel audiovisuel, d'une part (21 % des réponses), et les outils mécaniques et électroniques, d'autre part (20 %), sont celles qui apparaissent ensuite comme les plus représentatives. Sont peu cités, en revanche, des objets qui relèvent de la catégorie des véhicules (5 % environ), de l'électroménager (4 %), du matériel scolaire (1 %) ou des outils manuels (1 %). Il est ainsi manifeste que, conformément à ce qui se passe pour les catégories naturelles (Rosch & Mervis, 1975 ; Rosch, 1976), le concept d'objet technique dispose de plus ou moins bons représentants.

3.3. L'utilisation des objets techniques dans les différentes matières scolaires

Le tableau 3 rend compte du nombre d'élèves qui parviennent à associer au moins un objet technique aux activités réalisées dans différentes disciplines scolaires. Il n'y a pas de différence significative liée au sexe dans ces résultats. On observe que les élèves n'ont aucun mal à fournir des noms d'outils qui instrumentent l'activité lorsqu'il est question du travail scolaire effectué en technologie. Mais dans certaines matières cette instrumentation ne fait pas évidence.

	6 ^e (N = 18)	5 ^e (N = 14)	4 ^e (N = 26)	3 ^e (N = 27)	Total (N = 85)
Mathématiques	15	10	22	20	67
Français	6	6	2	5	19
Musique	16	8	18	19	61
EPS	4	4	8	6	22
Sciences physiques	17	8	20	23	68

Tableau 3 : Nombre d'élèves associant un objet technique à une discipline scolaire

Soixante-dix à quatre-vingts pour cent des collégiens interrogés estiment qu'on ne se sert pas d'objets techniques en classe de français ou d'EPS. Dans les mêmes proportions, ils paraissent en revanche sensibles au caractère instrumenté des activités scolaires réalisées en mathématiques, en musique et en sciences physiques.

3.4. Les objets techniques à usage domestique

À la question qui invitait les élèves à citer au moins trois objets techniques pouvant trouver leur place dans les différentes pièces d'une habitation, les résultats montrent qu'ils ont plus ou moins de difficultés selon la pièce concernée. La cuisine est celle qui pose le moins de difficulté. Quatre-vingts pour cent des élèves nomment trois objets pris exclusivement parmi les appareils électriques (réfrigérateur, four micro-ondes, machine à laver la vaisselle, grille-pain, etc.) ; ils excluent ainsi les ustensiles simples (casserole, assiettes, couverts, etc.), les appareils mécaniques (essoreuse, moulinette, etc.) et les meubles (buffet, évier, etc.)

En ce qui concerne la chambre, 35 % des élèves n'avancent qu'un nom ou deux. Très largement, les élèves ne pensent pas aux meubles (lit,

table de nuit, bureau, lampe, etc.) En tant qu'objet technique, ils pensent seulement à des appareils tels qu'un téléviseur, une chaîne stéréo voire un réveil.

On obtient des résultats similaires à propos de la salle à manger. L'embaras des élèves est encore plus grand pour la salle de bains : 55 % des élèves ne réussissent pas à donner trois noms d'objets techniques qui pourraient y avoir une place. Là aussi, il ne leur vient pas à l'esprit qu'il conviendrait de citer les appareils sanitaires (lavabo, baignoire, robinets, etc.) ou les ustensiles de toilette (serviettes, peigne, brosse à dents, savon, etc.) Il ne reste donc, à leurs yeux, pour représenter les objets techniques qui y sont normalement localisés que les appareils électriques (séchoir, rasoir, etc.)

Enfin, l'embaras des élèves est exactement du même ordre pour le garage (53 %). Les élèves ont du mal à faire rentrer autre chose que ce qui relève de la catégorie des véhicules et des outils motorisés.

L'univers des objets techniques dont on dispose chez soi reste donc finalement très restreint dans l'esprit des élèves. Les garçons et les filles, quel que soit leur âge, répondent de la même manière.

3.5. Les objets techniques à usage extra-scolaire et extra-domestique

Les élèves devaient citer les objets techniques qu'ils utilisent le plus souvent en dehors de l'école et de la maison (tableau 4).

		Pas d'objet cité	Un objet cité	Deux objets ou plus cités	Total
6 ^e	Garçons	3	7	0	10
	Filles	1	5	2	8
5 ^e	Garçons	2	3	2	7
	Filles	1	5	1	7
4 ^e	Garçons	3	6	4	13
	Filles	2	4	7	13
3 ^e	Garçons	2	9	7	18
	Filles	4	3	2	9
Total	Garçons	10	25	13	48
	Filles	8	17	12	37
Ensemble		18	42	25	85

Tableau 4 : Répartition des effectifs en fonction du nombre d'objets cités

Les résultats montrent qu'en moyenne un élève sur cinq ne propose pas d'objets. Il n'y a pas de différence due au sexe ou à l'âge. La majorité des objets cités (54 %) appartient à la catégorie des véhicules (voiture, bus, moto, bicyclette). La catégorie regroupant autoradios, baladeurs, jeux vidéos rassemble 20 % des réponses. Les objets relevant de l'équipement sportif sont rarement évoqués (4 % des réponses). Tout se passe donc comme si la réalité extérieure avait elle-même, dans l'esprit des élèves, un caractère faiblement technique.

Alors que les jeunes enfants ont tendance à conférer aux objets naturels un caractère artificiel (Piaget, 1966), les collégiens semblent se situer dans une tendance inverse consistant à naturaliser une partie importante de la réalité technique.

3.6. Les bons, les mauvais et les médiocres représentants du concept d'objet technique

Les élèves devaient, dans le dernier item, se prononcer sur le caractère technique ou non de cinquante-six objets. On examinera successivement les résultats du point de vue de la technicité conférée aux différentes familles d'objets, de la représentativité de chaque exemplaire et de l'évolution des catégorisations proposées selon l'âge des élèves.

3.6.1. *Hétérogénéité de la technicité conférée aux différentes familles d'objets concernées*

Cette hétérogénéité ressort clairement des résultats (voir le tableau 5) obtenus après regroupement par catégorie conceptuelle. De là dérive le pattern global des familles d'objets dont le degré de technicité va croissant dans l'esprit des collégiens. L'écart qui sépare ces familles les unes des autres est considérable. Par exemple, les aliments sont considérés comme réalisations techniques par seulement 10 % des élèves ; les vêtements le sont par 19 % d'entre eux alors que les machines électroniques ou les appareils électriques le sont par plus de 90 %.

	Non technique		Technique		Indécis	
	Fille	Garçon	Fille	Garçon	Fille	Garçon
	%	%	%	%	%	%
Aliments	43	43	4	6	3	1
Fabrications animales	41	42	7	6	2	2
Meubles	40	44	8	6	2	0
Jouets	39	40	7	8	4	2
Produits pétrochimiques, pharmaceutiques ou para-pharmaceutiques	35	37	9	9	5	5
Vêtements	40	37	8	11	2	2
Ustensiles de cuisine, de décoration	36	37	11	11	3	2
Instruments de mesure, de contrôle	29	29	15	20	5	2
Outils manuels	33	28	14	21	3	1
Édifices	27	29	17	19	5	3
Instruments de musique	23	23	22	26	5	1
Productions artistiques	18	15	28	32	5	2
Armes	18	17	24	30	8	3
Outils graphiques	22	24	23	24	6	1
Véhicules	7	13	40	36	3	1
Appareils, machines électriques	2	3	47	45	1	2
Appareils, machines électroniques	3	4	46	46	1	0

Tableau 5 : Répartition (en pourcentages) des réponses selon les familles d'objets

Les données rendent compte d'une hiérarchie ainsi établie du moins technique au plus technique : aliments – meubles – jouets – vêtements – ustensiles de cuisine ou de décoration – instruments simples de mesure ou de contrôle – outils manuels – édifices – instruments de musique – productions artistiques – armes – outils ou réalisations graphiques – véhicules – appareils ou machines électriques et électroniques.

Nous resterons toutefois prudents quant à la fiabilité de ce classement. En effet, les différentes familles d'objets n'ont pas été constituées dans les mêmes proportions, avec la même diversité et en croisant les mêmes paramètres supposés influents (niveau de familiarité, complexité de fabrication et d'usage, caractère novateur ou non de la technologie concernée, etc.) Cela fait partie des imperfections inhérentes à ce premier travail à caractère exploratoire.

L'absence de différence due au sexe des élèves n'en constitue pas moins une donnée intéressante à relever. Le sexe des élèves n'a aucune influence sur leurs réponses, que celles-ci soient considérées par familles ou objet par objet. Y compris en ce qui concerne des objets, *a priori*, fortement « sexués » (casserole, friteuse électrique, machine à coudre, tube de rouge à lèvres versus terrain de football, lance-pierres, moto, perceuse électrique), on ne constate pas d'appréciations contrastées de la part des filles et des garçons.

On ne relève qu'une légère tendance systématique qui serait susceptible de différencier les filles des garçons. En effet, elles expriment un tout petit peu plus de prudence ou de réserve dans leurs jugements que les garçons (4,08 % de réponses « j'hésite à me prononcer » contre 1,82 % pour les garçons). Cette tendance reste toutefois bien trop faible pour être statistiquement significative, même pour les objets dont la technicité suscite globalement le plus grand nombre d'avis départagés (par exemple, les entités : lac artificiel, photographie, règle, scie à main, stylo).

Massivement, garçons et filles ne semblent donc pas éprouver de difficulté à trancher sur la question posée (l'objet concerné est-il ou non technique ?) Ainsi les collégiens s'avèrent-ils catégoriques quant à ce qu'il convient ou non d'exclure de la réalité technique. Cela constitue d'ailleurs, à notre sens, un des constats importants de cette étude : la vision étroite dont témoigne ces idées préconçues gagnerait, à peu de frais sans doute, à être déstabilisée par l'enseignement dispensé en technologie.

3.6.2. Le concept d'objet technique dispose de plus ou moins bons représentants

Le détail des réponses fait apparaître, en second lieu, qu'il existe de « bons » représentants du concept d'objet technique, par opposition à d'autres qui sont « médiocres », « mauvais » voire franchement « très mauvais ».

Par bon représentant, on entend ici les entités auxquelles le statut d'objet technique est dévolu par une nette majorité (75 % au moins) de sujets et par très mauvais représentants les entités auxquelles une minorité de sujets (25 % au plus) reconnaissent une telle qualité. D'une telle répartition, il ressort que les artefacts qui représentent mal le concept d'objet technique semblent finalement plus répandus que ceux qui le représentent bien ou facilement.

	Technique	Non technique	Ne sait pas	Total
Ordinateur	80	5	0	85
Calculatrice	79	4	2	85
Console de jeux vidéos	79	4	2	85
Friteuse électrique	79	4	2	85
Perceuse électrique	79	6	0	85
Machine à coudre	78	3	4	85
Téléphone	77	8	0	85
Lecteur CD	76	8	1	85
Moto	76	9	0	85
Usine	74	8	3	85
Disque compact	73	8	4	85
Tracteur	73	9	3	85
Effet spécial (cinéma)	65	10	10	85

Tableau 6 : Les meilleurs représentants du concept

Au moins 75 % des élèves n'accordent le statut d'objet technique qu'à treize objets parmi les cinquante-six de la liste (tableau 6). Apparaissent comme bons représentants du concept les objets qui interviennent dans le traitement de l'information (ordinateur, calculatrice, console de jeux, etc.), les appareils dits électriques (friteuse ou perceuse), les objets qui ont un statut de machine (machine à coudre), d'engin (moto, tracteur) ou un caractère résolument moderne (disque compact, lecteur de CD, etc.)

Près de la moitié des objets de la liste proposée aux élèves peuvent être catégorisés en tant que très mauvais représentants du concept au sens indiqué ci-dessus (tableau 7).

	Technique	Non technique	Ne sait pas	Total
Statue	20	61	4	85
Tube de rouge à lèvres	19	57	9	85
Fleur artificielle	19	63	3	85
Casserole	18	61	6	85
Pioche	18	64	3	85
Numéro de La Provence	17	62	6	85
Litre d'essence	16	62	7	85
Plat surgelé	15	65	5	85
Cathédrale	14	59	12	85
Jeu monopoly	13	64	8	85

Nid d'oiseaux	13	72	0	85
Fauteuil	12	71	2	85
Sucre	12	73	0	85
Tomate-cerise	12	64	9	85
Cachet aspirine	11	65	9	85
Ours en peluche	11	71	3	85
Soupe en sachet	11	70	4	85
Igloo	9	70	6	85
Jean	9	74	2	85
Terrain de foot	8	74	3	85
Toile d'araignée	8	70	7	85
Hamburger	5	77	3	85
Bonzaï	2	79	4	85
Salade	2	80	3	85
Baguette de pain	1	82	2	85

Tableau 7 : Les très mauvais représentants du concept

Notons que les deux intrus, la toile d'araignée et le nid d'oiseaux, qui figurent dans la liste, ne reçoivent que rarement le titre d'objet technique. Les enfants opéreraient une distinction entre ordre biologique et ordre technologique (Tinland, 1977, 1994) dès lors qu'il s'agit de catégoriser une production animale, tandis que le statut de production humaine ne suffit pas à homogénéiser l'ordre technologique.

En effet, rentrent globalement dans la catégorie des très mauvais représentants du concept, les objets techniques avec lesquels on entretient des rapports de nature corporelle (se nourrir, se vêtir, se protéger, etc.)

Tous les autres objets de la liste sont des entités dont le statut fait moins évidence. Ils restent majoritairement considérés plutôt en tant qu'objets techniques (il s'agit alors de représentants médiocres) ou plutôt en tant qu'objets non techniques (il s'agit de mauvais représentants), mais leur catégorisation dominante est moins consensuelle. Ainsi, rentrent encore majoritairement, mais de plus en plus difficilement, dans la catégorie les entités suivantes (tableau 8).

	Technique	Non technique	Ne sait pas	Total
Schéma électrique	63	17	5	85
Chaudière	61	11	13	85
Missile	58	16	11	85
Bicyclette	54	25	6	85
Tam-tam	46	35	4	85
Photographie	44	35	6	85

Tableau 8 : Les représentants médiocres du concept

Par opposition, ne rentrent toujours pas majoritairement dans la catégorie des objets techniques, bien qu'ils s'en rapprochent de plus en plus, les objets suivants (tableau 9).

	Technique	Non technique	Ne sait pas	Total
Dessin technique	41	37	7	85
Lac artificiel	40	29	16	85
Théorème de mathématiques	40	38	7	85
Tunnel	37	44	4	85
Flûte	35	43	7	85
Règle	35	46	4	85
Scie à main	35	46	4	85
Stylo	35	45	5	85
Lance-pierres	32	44	9	85
Cheminée	25	50	10	85
Girouette	23	53	9	85
Pull fait main	23	57	5	85

Tableau 9 : Les mauvais représentants

Le caractère très hétéroclite des entités rassemblées dans ces deux catégories souligne la fragilité du concept pour les élèves. Par ailleurs, ces résultats mettent en évidence la nécessité de compléter cette étude afin de caractériser plus finement les critères qui fondent ces jugements.

3.6.3. *L'extension donnée au concept se rétrécit avec l'âge*

Le troisième constat majeur a trait à l'évolution de ces conceptions en cours de scolarité. Il semble qu'avec l'âge il y ait des choses que les enfants acceptent de moins en moins facilement de ranger dans la catégorie des objets dits techniques. Tout se passe comme si le fait de pouvoir qualifier

un objet de « technique » impliquait soit la possession de propriétés de plus en plus nombreuses soit celle d'attributs de plus en plus sélectifs. L'extension donnée au concept semble ainsi devenir, à certains égards, de plus en plus restrictive avec l'âge. Ceci n'affecte pas apparemment les entités identifiées globalement en tant que « meilleurs représentants » du concept. La technicité des objets relativement complexes (ordinateur, calculette, console vidéo, friteuse et perceuse électriques, lecteur de compacts-disques, machine à coudre, moto, tracteur, etc.) paraît solidement établie dans l'esprit des collégiens.

Les catégorisations effectuées de classe en classe tendent en revanche à montrer que le concept bénéficie d'un nombre de bons représentants plus étendu au départ qu'à l'arrivée (première et dernière année de collège). Ainsi, certains objets (théorème mathématique, flûte, lac artificiel, schéma électrique, chaudière) semblent passer du statut de très bons ou de relativement bons spécimens (règle, scie à main, photographie, dessin technique, lance-pierres, pull fait main, stylo) pour les élèves de sixième au statut de mauvais exemplaires pour les élèves de troisième. Qui plus est, de tous les objets de la liste, deux apparaissent plus fréquemment catégorisés en tant qu'objets techniques en troisième qu'en sixième. Il s'agit de l'ordinateur dont l'utilisation est enseignée en technologie et de la console vidéo que les enfants connaissent incontestablement moins bien à douze ans qu'à quinze. Cela pourrait vouloir dire que les objets techniques ordinaires, dont l'usage ne semble pas, par opposition, justifier d'apprentissage spécifique et organisé finissent aussi par faire mauvaise figure par rapport aux objets qui s'exposent à une véritable genèse conceptuelle pour devenir des instruments de l'action du sujet (Rabardel, 1995). Ce sont ces résultats que nous présentons dans le tableau 10 ; ils sont exprimés en pourcentages afin de pouvoir apprécier l'évolution.

	Élèves	
	de sixième	de troisième
	%	%
Théorème de mathématiques	89	22
Flûte	80	20
Lac artificiel	80	30
Pull fait main	50	10
Schéma électrique	89	52
Règle	60	30
Scie à main	60	30
Photographie	61	33
Lance-pierres	50	25

Chaudière	83	59
Dessin technique	50	30
Cheminée	40	20
Stylo	60	40
Missile	72	56
Bicyclette	72	56
Tunnel	44	33
Tam-tam	61	52
Girouette	22	22

Tableau 10 : Évolution des pourcentages de réponses qui accordent le statut d'objet technique à chacun des objets cités

4. ÉLÉMENTS DE DISCUSSION

Cette étude témoigne de l'appréhension restreinte que les élèves de collège possèdent de la notion d'objet technique. Elle montre en outre que l'extension conférée à ce concept tend à devenir de plus en plus étroite en cours de scolarité. Il reste à essayer de voir ce que l'essence de la technicité semble recouvrir dans l'esprit des élèves et ce qui paraît susceptible d'expliquer que l'acception du concept, au lieu de s'élargir, tende au contraire à se rétrécir.

On notera, tout d'abord, que la plupart des collégiens semble bien faire la différence entre le registre des productions animales et celui des fabrications humaines. Ainsi les deux intrus qui figuraient dans la liste (nid d'oiseaux, toile d'araignée) ont été rarement classés en tant qu'objets techniques.

En second lieu, on constate pourtant que le fait d'avoir affaire soit à un objet réalisé à l'aide d'un matériau synthétique plutôt que naturel (fleur en plastique), soit à un objet qui représente un « mixte » de deux espèces (légume et fruit pour la tomate-cerise), soit même à un objet qualifié d'artificiel (lac) se révèle largement insuffisant en soi pour les reconnaître en tant qu'objets techniques. Près de la moitié des élèves n'accorde pas ce statut au lac artificiel ; ce qui peut toutefois s'expliquer par le fait que parler dans ce cas d'objet plutôt que de réalisation technique a pu s'avérer mal adapté. Les trois-quarts des sujets cependant ont également exclu du champ la fleur en plastique et la tomate-cerise ; l'appartenance au registre biologique de tels objets primant donc, apparemment largement, sur d'autres critères.

Que les objets techniques soient des fabrications d'origine humaine, les élèves en semblent relativement conscients, mais ce caractère d'objet non naturel ou peu naturel, si ce n'est explicitement artificiel, est loin de constituer, pour eux, le critère unique ou la propriété commune qui permettrait de décider ce qu'il convient d'englober sous l'ordre technologique.

C'est finalement l'ordinateur, qui sans être de très loin le meilleur représentant du concept est, de fait, celui qui se révèle le plus prototypique. Mais sont également de bons représentants de la catégorie : les machines à base d'électronique, les appareils motorisés. Le sont aussi sans doute, bien qu'il ne nous soit pas possible ici de l'affirmer sur un plan général (la catégorie n'était représentée que par un exemplaire unique) :

- les produits issus des technologies résolument modernes mais qui ne représentent pas des objets qui se prêtent à l'action directe (cf. les images virtuelles) ;
- dans la série des édifices, ceux qui ont un caractère industriel manifeste (cf. une usine) ;
- les moyens de communication modernes. Le téléphone rentre sans difficulté dans la catégorie. Il est ainsi probable qu'*a fortiori* des objets tels que le télex, le fax, le minitel ou l'internet y trouveraient également leur place.

Le caractère technique accordé à des objets du type schéma électrique, chaudière, missile, bicyclette ou photographie, fait déjà moins évidence puisqu'il n'est plus reconnu que par moins de trois élèves sur quatre. Quel sens donner à ce constat ? Pourquoi un schéma électrique fait-il, par exemple, moins bonne figure d'objet technique que tous les autres objets également qualifiés d'électriques (friteuse ou perceuse) ? N'est-ce pas le statut d'instrument psychologique (au sens de Vygotski) en tant qu'outil de pensée chargé d'agir sur le psychisme propre ou interindividuel plutôt qu'en tant qu'outil d'action chargé d'agir sur la réalité matérielle extérieure qui fait ici obstacle ? Cet obstacle ne provient-il pas aussi de la forte corrélation empirique que le mot « électrique » entretient avec des indices perceptivo-moteurs induisant à considérer, par exemple, qu'est vraiment électrique ce qui fonctionne à l'électricité, voire ce qui dispose d'une prise de courant ou de piles ?

Cette première enquête conduite pour « *débroussailler le terrain* » devra, comme on le voit, faire l'objet de prolongements pour affiner ces premières données. Mais déjà elle nous renseigne sur certains faits ainsi qu'en témoignent, par exemple, les différences d'appréciation auxquelles donnent lieu, dans la famille des véhicules, les objets moto et bicyclette. La présence d'un moteur à l'intérieur d'une même lignée d'objets (Deforge,

1980) suffit à conférer le statut d'objets techniques aux représentants de cette lignée qui paraissent techniquement les plus évolués ou les plus récents historiquement.

Parmi les très mauvais représentants du concept d'objet technique figurent manifestement la plupart des aliments courants (baguette de pain, salade, hamburger, sucre, soupe en sachet, plat surgelé). Aux yeux des élèves, l'objet technique ne se mange pas. Pour autant, il est clair qu'à l'intérieur de cette catégorie, tous les exemplaires ne se valent pas. Si d'une manière générale, les produits alimentaires passent difficilement pour des objets techniques, ce statut leur est un peu plus facilement reconnu lorsqu'il devient plus manifeste qu'il s'agit d'aliments fabriqués industriellement, et cela quelle qu'en soit la raison (produit emballé, denrée de forme standardisée, aliments surgelés).

Figurent aussi, dans ces pires représentants du concept, des vêtements (jean), des meubles (fauteuil), des jouets passifs et traditionnels (ours en peluche, jeu de monopoly), des produits pharmaceutiques (cachet d'aspirine), des outils manuels (pioche), des ustensiles de cuisine (casserole), des édifices (igloo, cathédrale). La technicité semble, globalement, ne plus vraiment être chargée de répondre aux besoins primaires de l'homme dans l'esprit des enfants nés à l'époque de la dernière révolution industrielle celle de l'« invention de l'inutile » selon l'expression de Neiryk (1988).

Plusieurs de ces données semblent toutefois confirmer qu'à l'intérieur d'une même classe taxonomique d'objets artificiels, toutes les catégories de base ne sont pas équivalentes quant aux possibilités qu'elles ont d'être incluses dans le concept de rang supérieur. En d'autres termes, il serait dangereux de prétendre que, globalement, telle ou telle catégorie d'artefacts (véhicules, moyens de communication, meubles, aliments ou autres) représente bien, moyennement bien ou mal ce que recouvre le concept d'objet technique. À l'intérieur d'une même classe d'instruments techniques il y en a dont la technicité fait évidence et d'autres pour lesquels elle apparaît douteuse. Certaines de ces différences paraissent facilement explicables. Tel est le cas des contrastes qui se manifestent par exemple entre la friteuse électrique (objet technique pour 93 % des élèves) et la casserole (pour 21 % seulement) ou, de la même façon, entre le missile et le lance-pierres, la moto et la bicyclette, la perceuse électrique et la scie à main. Au sein d'une même famille d'objets, les outils mécaniques représentent moins bien le concept d'objet technique que ceux qui sont motorisés ou électroniques. Le fait qu'un objet incorpore une technologie moderne, est donc favorable à la reconnaissance de son statut d'objet technique.

Mais cet aspect est loin, à lui seul, d'épuiser les critères que les élèves semblent amenés à prendre en compte pour juger de l'appartenance ou non d'un objet à l'ordre technologique. Une usine est facilement catégorisée en tant que tel quand une cathédrale l'est difficilement. Les vêtements apparaissent comme de mauvais représentants du concept, mais cela reste moins vrai du pull tricoté que de l'objet standardisé que représente le jean. La nature technique d'un tunnel est mieux admise que celle d'un terrain de football. Un effet spécial au cinéma est plus facilement considéré en tant que réalisation technique qu'une photographie qui l'est elle-même plus facilement qu'une statue. Ce qui tend à indiquer qu'une œuvre paraît d'autant plus facilement technique qu'elle est elle-même le résultat de la mise en œuvre d'une activité hautement instrumentalisée.

Loin de gagner en extension, l'appréhension du concept d'objet technique a donc tendance à devenir de plus en plus restrictive au fur et à mesure que les enfants progressent en âge et dans leur scolarité. Deux types de processus semblent susceptibles d'expliquer ce phénomène.

Avec l'âge et sous l'effet des interventions didactiques de l'entourage, il semble, d'abord, tout à fait normal que la tendance artificialiste qui marque d'abord la mentalité enfantine, empreinte d'animisme, de magie et de finalisme, ait globalement tendance à régresser. Comme Piaget l'a montré, l'artificialisme, « *d'intégral* » qu'il est au départ, est ensuite qualifié de « *technique* », car il devient mitigé au cours d'une seconde période qui correspond au moment où l'enfant (de 7-8 ans vers 9-10 ans) commence « *à s'attacher au détail des machines et aux procédés de la technique humaine* » (Piaget, 1966, p. 313) qui font qu'animisme et artificialisme deviennent contradictoires. Au cours de l'« *artificialisme immanent* » qui survient vers 9-10 ans l'idée que la nature est fabriquée par l'homme disparaît entièrement et seul survit le finalisme : « *toute la nature reste pénétrée de fins et une force substantielle, une activité spontanée est prêtée aux choses en propre. La nature elle-même devient donc dépositaire de l'artificialisme des derniers stades* » (*ibid.*, p. 315).

Les fabrications qui ne sont pas spécifiquement humaines, seraient ainsi progressivement éliminées de la sphère des objets auxquels les enfants apprennent à conférer le statut d'objet technique. C'est bien ce que l'on constate, par exemple, à propos du nid d'oiseaux : cette production animale a plus facilement valeur d'objet technique pour les collégiens du premier cycle (25 %) que pour ceux du second. Il est tout à fait probable, en outre, que l'organisation des contenus dispensés en sciences et technologie à l'école primaire contribue à faciliter cette catégorisation dichotomique du monde phénoménal extérieur dans la mesure où ce qui relève des sciences physiques et naturelles y est clairement dissocié de l'approche des réalisations technologiques.

À l'artificialisme spontané du jeune enfant, que la régression de l'égocentrisme, l'expérience sociale et les apprentissages scolaires contribuent à faire régresser, succède cependant et manifestement un processus de sens contraire. Ce processus conduit l'élève à naturaliser de plus en plus les artefacts ordinaires, d'usage courant, et tout ce qui, en général, n'appartient pas à la catégorie techniquement plus prestigieuse des machines ou appareils électriques ou électroniques. Si cette tendance semble à l'image de la péjoration culturelle qui, sauf exception (Dagognet, 1989), frappe les ustensiles ou les produits manufacturés les plus répandus, il paraît non moins probable que l'enseignement de la technologie au collège détient une part de responsabilité dans l'ampleur que revêt ce processus de naturalisation de l'environnement artefactuel. On peut en prendre pour signe le fait que les élèves en viennent finalement à éliminer progressivement de l'ordre technologique toutes les fabrications qui relèvent des divers secteurs de l'industrie (l'agro-alimentaire, les diverses branches de la chimie, le bâtiment, le textile, etc.) que le champ de l'étude tend lui-même à évacuer. De la même façon les élèves auraient vraisemblablement du mal à ranger les figures géométriques dans la catégorie des objets mathématiques si l'enseignement de cette discipline se limitait à l'arithmétique et l'algèbre. Pour que la technologie en vienne à être perçue en tant que science de l'artificiel ou des techniques (Perrin, 1991) et envisagée dans sa forme socialement médiatrice (Latour, 1991), il conviendrait, pour le moins, de ne pas la réduire à l'électronique et à l'informatique.

BIBLIOGRAPHIE

- AKRICH M. (1987). Comment décrire les objets techniques ? *Techniques et culture*, n° 9, pp. 49-63.
- ANDREUCCI C. (1993). Faits didactiques et effets cognitifs en classe de seconde TSA. *Rapport de recherche, INRP, Paris*, Paris, INRP.
- CAZENOBE J. (1987). Esquisse d'une conception opératoire de l'objet technique. *Techniques et culture*, n° 10, pp. 61-80.
- CHATONEY M. (1999). *Place de la technologie dans les manuels scolaires de l'école primaire*. XXI^{es} Journées Internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles, technologies – Technologie, Chamonix, LIREST, LDES, 22-26 mars.
- COMBARNOUS M. (1984). *Les techniques et la technicité*. Paris, Éditions Sociales.
- DAGOGNET F. (1989). *Éloge de l'objet*. Paris, Vrin
- DEFORGE Y. (1980). *L'œuvre et le produit*. Seyssel, Champ Vallon.
- DEFORGE Y. (1993). *De l'éducation technologique à la culture technique*. Paris, ESF.
- GINESTIÉ J. (1992). *Contribution à la didactique des disciplines technologiques : acquisition et utilisation d'un langage d'automatismes*. Thèse de doctorat, Université de Provence.
- HAUDRICOURT A.-G. (1964). La technologie, science humaine. *La Pensée*, n° 115, pp. 28-35.

- LATOURE B. (1991). *Nous n'avons jamais été modernes. Essai d'anthropologie symétrique*. Paris, Éditions de la Découverte.
- LEBEAUME J. (2000). *L'éducation technologique. Histoire et méthodes*. Paris, ESF.
- LEBEAUME J. & MARTINAND J.-L. (1998). *Enseigner la technologie au collège*. Paris, Hachette Éducation.
- MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne, Peter Lang.
- MAUSS M. (1936). Les techniques du corps. *Journal de Psychologie*, vol. XXXII, n° 3-4, pp. 363-386.
- MAUSS M. (1948). Les techniques et la technologie. In I. Meyerson & L. Febvre (Dir.), *Le travail et les techniques. Journal de psychologie*, numéro spécial, pp. 71-78.
- NEIRYNCK J. (1988). *Le huitième jour de la création. Introduction à l'anthropologie*. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes.
- PIAGET J. (1966, 9ème édition). *La représentation du monde chez l'enfant*. Paris, Alcan (1927, 1^{ère} éd.)
- RABARDEL P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Paris, A. Colin.
- ROSCH E. (1976). Classification d'objets du monde réel : origines des représentations dans la cognition. *Bulletin de Psychologie*, numéro spécial, pp. 242-250.
- ROSCH E. & MERVIS C (1975). Family resemblances : studies in internal structure of categories. *Cognitive Psychology*, n° 7, pp. 573-605.
- SÉRIS J.-P. (1994). *La technique*. Paris, PUF.
- SIGAUT F. (1990). Folie, réel et technologie. *Technique et culture*, n° 15, pp. 167-179.
- SIMONDON G. (1989). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris, Aubier.
- TINLAND F. (1977). *La différence anthropologique. Essai sur les rapports de la nature et de l'artifice*. Paris, Aubier.
- TINLAND F. (1994). *Ordre biologique et ordre technologique*. Seyssel, Champ Vallon.

ANNEXE

Enquête sur la notion d'objet technique

Cette enquête a pour but de nous aider à mieux comprendre la signification que tu donnes à la notion d'objet technique.

Essaie de répondre du mieux que tu peux à toutes les questions en respectant le mode de réponse qu'on te propose.

Question 1

Es-tu une fille ou un garçon ?

Fille Garçon

Question 2

En quelle classe es-tu ?

6^e 5^e 4^e 3^e

Question 3

La technologie est-elle une discipline qui t'intéresse ?

Beaucoup Moyennement Un peu Pas du tout

Question 4

Connais-tu des objets qui ne sont pas des objets techniques ? Cites-en au moins trois :

- 1-
- 2-
- 3-

Question 5

Quand on te parle d'objet technique à quels objets penses-tu d'abord ? Cites les trois premiers objets techniques auxquels tu penses ?

Question 6

À l'école, utilise t-on des objets techniques dans d'autres matières que la technologie ?

MATIÈRES EN	On n'utilise pas d'objets techniques	On utilise les objets techniques suivants :
MATHÉMATIQUES		
FRANÇAIS		
MUSIQUE		
EPS		
SCIENCES PHYSIQUES		

Question 7

Quels sont les objets techniques que l'on rencontre le plus souvent dans les différentes pièces d'une maison ?

PIÈCES	OBJETS TECHNIQUES (Cites-en au moins trois par pièce)
CHAMBRE	
CUISINE	
SALLE À MANGER	
SALLE DE BAINS	
GARAGE	

Question 8

Cites les objets techniques que tu utilises le plus souvent quand tu n'es ni à l'école ni à la maison ?

Question 9

Dans la liste des objets désignés ci-dessous quels sont ceux qui représentent pour toi des objets techniques, quels sont ceux qui n'en sont pas et quels sont ceux pour lesquels tu hésites ? (Fais une croix dans la case correspondant à ton choix).

OBJET	OBJET TECHNIQUE	OBJET NON TECHNIQUE	J'HÉSITE
Une baguette de pain			
Un bonsaï			
Un cachet d'aspirine			
Une calculette			
Une casserole			

Une cathédrale			
Une chaudière			
Une cheminée			
Un compact disque			
Une console de jeux vidéos			
Un dessin technique			
Un effet spécial (au cinéma)			
Un fauteuil			
Une fleur en plastique			
Une flûte			
Une friteuse électrique			
Une girouette			
Un hamburger			
Un igloo			
Un jean			
Un jeu de monopoly			
Un lac artificiel			
Un lance-pierres			
Un lecteur CD			
Un litre d'essence			
Une machine à coudre			
Un missile			
Une moto			
Un nid d'oiseaux			
Un numéro du Provençal			
Un ordinateur			
Un ours en peluche			
Une perceuse électrique			
Une photographie			
Une pioche			
Un plat surgelé			
Un pull fait main			
Une règle			
Une salade			
Une scie à main			
Un schéma électrique			
Une soupe en sachet			
Une statue			

Un stylo			
Un sucre			
Un tam-tam			
Un téléphone			
Un terrain de foot			
Un théorème mathématique			
Une toile d'araignée			
Une tomate-cerise			
Un tracteur			
Un tube de rouge à lèvres			
Un tunnel			
Une usine			
Une bicyclette			

Cet article a été reçu le 20/10/99 et accepté le 10/10/2000.

Quelle terminologie adopter pour articuler enseignement disciplinaire et enseignement thématique de l'énergie, en classe de première de série scientifique ?

Which terminology should be used in order to teach energy both as theme and as subject to scientific six-formers ?

Catherine BRUGUIÈRE, André SIVADE, Danièle CROS

Laboratoire de Recherche en Didactique des Sciences (Équipe ERES)
Université Montpellier II
Place Eugène Bataillon, case 39
34095 Montpellier cedex 5, France.

Laboratoire Culture et Communication
Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse
74 rue Louis Pasteur, case 19
84029 Avignon cedex 1, France.

Résumé

Une des originalités de l'enseignement français actuel de l'énergie en classe de première de série scientifique est de conjuguer à une approche pluridisciplinaire classique, une approche thématique. Le problème

terminologique posé par cette double approche est analysé dans une perspective didactique afin de proposer un référent langagier qui soit commun aux différents enseignants disciplinaires. Le recours à un mode de représentations spatiales des connaissances permet de visualiser les termes par lesquels peut s'établir une forme de communication intra et interdisciplinaire.

Mots clés : *enseignement de l'énergie, concept pluridisciplinaire, représentations spatiales des connaissances, terminologie, langage commun*

Abstract

One of the distinctive feature of the teaching of energy to scientific six-formers in France today is its double-sided outlook : considering a thematic approach to the subject, as well as its traditionnaly pluridisciplinary character. The terminology issue raised by this double approach is seen here with a didactic purpose, and consists in finding a teaching language common to the teachers of each subject. Resorting to a mode of spatial representation of the acquisitions makes it possible to visualize the terms with which to establish a form of communication, either within the subject itself or with other subjects.

Key words : *teaching of energy, pluridisciplinary concept, spatial representation of the acquisitions, terminology, teaching language common*

Resumen

Una de las originalidades de la enseñanza francesa actual sobre la energía en clase del primer año de la serie científica es conjugar en un enfoque pluridisciplinario clásico, un enfoque temático. El problema terminológico planteado por este doble enfoque, es analizado con una perspectiva didáctica a fin de proponer un referente del lenguaje que sea común a las diferentes enseñanzas disciplinarias. El recurso a modo de representaciones espaciales de los conocimientos permitió visualizar los términos por los cuales se puede establecer una comunicación intra e interdisciplinaria.

Palabras claves : *energía, concepto disciplinario, representaciones espaciales de los conocimientos, cadena energética, terminología.*

INTRODUCTION

Depuis les années 70, qualifiées de « crise de l'énergie », l'enseignement de l'énergie est une constante dans les programmes français de sciences physiques au niveau de première scientifique. Toutefois, les approches évoluent d'un programme à l'autre, en ce sens qu'elles reposent sur des découpages conceptuels (Bruguière et al., 1994), des hypothèses épistémologiques mais aussi d'apprentissage (Lemeignan & Weil-Barais, 1993) différentes. Une des originalités du programme actuel de 1^{re} S (bulletin officiel hors série du 24/09/92) est d'associer, à un enseignement pluridisciplinaire de l'énergie, une approche thématique. Bien qu'à travers cette double approche, la cohérence de l'enseignement de l'énergie soit largement améliorée, cela n'est pas sans poser des problèmes de mise en œuvre chez les enseignants, en particulier, des problèmes d'origine terminologique.

Audigier et al. (1985) ont montré que les élèves ont des difficultés à établir spontanément des relations entre des concepts étudiés dans différentes disciplines, et l'une des raisons provient du fait qu'ils n'arrivent pas, le plus souvent, à référer l'emploi d'un terme au champ disciplinaire correspondant. C. de Bueger-Vander Borght et A. Mabile (1989) expliquent comment un enseignement pluridisciplinaire de l'énergie aboutit le plus souvent à l'acquisition d'une connaissance fragmentée, c'est-à-dire une connaissance qui ne rend pas les élèves capables de transposer les concepts étudiés dans une discipline à d'autres disciplines. Cela les conduit à imaginer l'existence de plusieurs énergies. Cette erreur est renforcée par des usages terminologiques disciplinaires qui peuvent sembler contradictoires. Ainsi, pour le géographe, l'énergie se produit et se consomme, pour le physicien elle se conserve et se dégrade alors que pour le biologiste elle se transforme (Audigier et al., 1985).

Nous pensons que cette double articulation, disciplinaire et thématique, qui devrait aider les élèves à construire une idée universelle de l'énergie, ne peut se réaliser en dehors d'une harmonisation terminologique à laquelle les enseignants doivent être préparés. D'autant que la logique disciplinaire repose sur un langage spécialisé et univoque (Jacobi, 1987) alors que la logique thématique tend à proposer un langage plus commun et polysémique. Comment faire fonctionner ces deux logiques ? Quelle terminologie les enseignants devraient-ils adopter pour articuler approche disciplinaire et approche thématique ?

Précisons ce que nous entendons par terminologie : « *un ensemble d'expressions dénommant dans une langue naturelle des notions relevant d'un domaine de connaissances fortement thématisé* » (Lerat, 1995, p. 20). Dénommer, ce n'est pas seulement désigner, c'est la façon d'appeler par

son nom un objet ou une classe d'objets ; cela suppose l'existence d'une convention établie par un corps spécialisé, ici, les enseignants concernés par l'enseignement de l'énergie. Quels sont les termes sur lesquels les enseignants peuvent s'entendre pour « parler » du concept d'énergie ?

Certes l'analyse terminologique est peu exploitée en didactique. Souvent limitée à l'étude des conceptions des élèves (cf. 1.2.1.), elle est jugée rapidement insuffisante pour expliquer les logiques mises en jeu. Pourtant, l'analyse terminologique nous paraît pertinente pour comprendre le « langage » des élèves, dès lors qu'elle permet de traiter, non seulement les termes utilisés, mais aussi la façon dont ils sont reliés sémantiquement (Bruguière, 1997).

Dans cet article, nous nous proposons d'étendre l'analyse terminologique à l'étude des conceptions des enseignants mais aussi à celles véhiculées par les programmes scolaires parce qu'elles sous-tendent la communication dans une situation d'enseignement-apprentissage (figure 1, d'après le triangle didactique proposé par Chevallard, 1991).

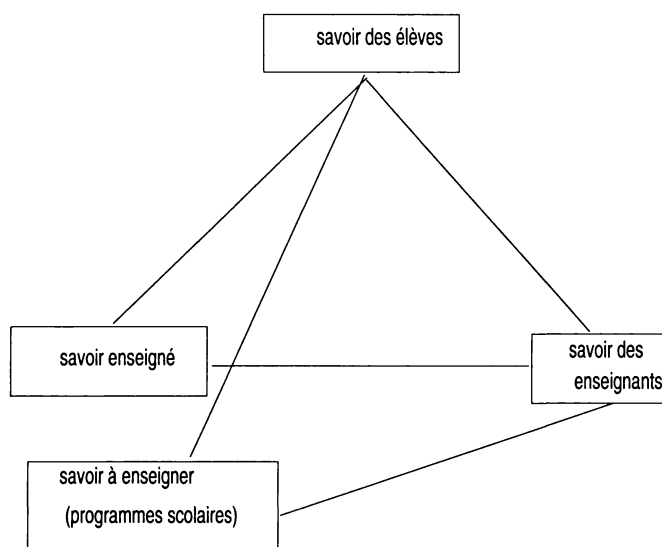


Figure 1 : Les savoirs mis en jeu avant enseignement (déplacement du triangle didactique)

Nous analyserons ces trois types de conceptions dans les différentes disciplines concernées par l'enseignement-apprentissage de l'énergie (sciences physiques, sciences de la Vie et de la Terre, géographie) en classe de 1^{er} S. L'objectif de cette analyse est de mettre au jour une terminologie

qui permettrait aux enseignants, quelle que soit leur discipline d'origine, de conjuguer approche disciplinaire et approche thématique de l'énergie.

Voyons, à présent, les raisons, à la fois d'ordre épistémologique et didactique, qui justifient le regard terminologique que nous portons sur l'enseignement-apprentissage de l'énergie.

1. LES RAISONS D'UN PROJET TERMINOLOGIQUE

1.1. Des raisons épistémologiques

Rappelons brièvement, à partir des travaux de P. Brouzeng (1980) et de J.-L. Martinand (1985), comment la construction du concept d'énergie, comme unité conceptuelle de la physique au cours du XIX^e siècle, s'est accompagnée de choix terminologiques déterminants. Alors que le vocable « énergie » émerge déjà dans les écrits d'Aristote et apparaît ponctuellement dans la littérature scientifique jusqu'au XVII^e siècle, il disparaît de la dynamique (science qui a participé grandement à l'émergence du concept d'énergie) tout au long du XVIII^e siècle au profit des termes « force vive » (Leibniz), « puissance motrice » (Sadi Carnot) ou encore « travail » (Clapeyron) et « chaleur » (Clausius). Chacune de ces dénominations caractérise des points de vue conceptuels différents des phénomènes scientifiques, que sont la filière mécanique et la filière thermique. Or, comme le souligne P. Brouzeng (1980), la fusion de ces points de vue – fédérée par le principe de conservation d'énergie – va permettre l'appréhension d'un concept plus général, au milieu du XIX^e siècle, pour lequel le choix d'un terme unique « énergie » s'impose. Dans cette recherche de cohérence, il semble, d'après P. Brouzeng (1980), que Clausius va proposer à la communauté scientifique d'utiliser les mêmes mots pour désigner les mêmes concepts ou les mêmes grandeurs et qu'elle adopte le mot « énergie » pour désigner la fonction que d'autres nomment « chaleur totale » ou « travail total » selon le cas. Le terme d'énergie désigne alors un invariant quantitatif et non plus une forme particulière. Le mot renvoie au concept qui s'ancre lui-même sur un réseau de concepts où l'on retrouve entre autres, travail, chaleur, articulés par le principe de conservation de l'énergie.

À cela, il convient de mentionner l'origine grecque du terme « énergie » (εργον : faire agir et du préfixe εν : dans) qui contribue à la stabilité identificatrice du concept. D'après J.-L. Martinand (1985), Clausius explique, en effet, dans sa « théorie de la chaleur » à propos de l'invention du mot « entropie », qu'il préfère emprunter aux langues anciennes les noms de quantités scientifiques importantes, afin qu'ils puissent rester les mêmes dans toutes les langues vivantes. À l'inverse, l'emprunt à la langue commune du terme « énergie » (qui signifie à l'origine « vigueur » et permettait au

XVIII^e siècle de qualifier un discours), ouvre la porte à des glissements de sens.

Voilà, rapidement évoqué, comment le choix linguistique d'un terme unique comme « énergie » qui plonge ses racines dans la langue ancienne et vernaculaire s'avère être un travail indissociable du processus de construction du concept énergie.

1.2. Des raisons didactiques

Des difficultés didactiques ayant pour origine l'absence d'une signification facilement identifiable du concept, liées au caractère polysémique du mot « énergie » et renforcées par un enseignement de type « traditionnel » du concept d'énergie, sont largement identifiées dans la littérature.

1.2.1. Les termes des conceptions des élèves

Le mot « énergie » fait partie du langage courant des élèves. Dès 1981, R. Duit souligne que les élèves portent en eux des notions préconçues, issues de leur environnement, sur la signification du mot énergie. Nous pensons comme Ballini et al. que « *le sens qui lui est assigné entrera nécessairement en interaction avec l'enseignement dispensé* » (Ballini et al., 1997, p. 82) et qu'il est donc utile de connaître les significations attribuées à ce terme par les élèves. Parmi les très nombreuses études sur les conceptions des élèves relatives à l'énergie, nous ferons référence uniquement à celles qui donnent des éléments sur les mots qui permettent aux élèves d'identifier le concept d'énergie. Ces études sont basées essentiellement sur des relations que les élèves doivent établir entre un certain nombre de situations concrètes qui leur sont proposées, sous forme généralement de documents sur lesquels l'énergie est présente ou pas.

Nous avons repéré dans la littérature, quatre types d'association fréquemment réalisée par les élèves :

– l'énergie est associée à « force »

L. Viennot (1989) a montré comment certains raisonnements spontanés des élèves en cinétique et dynamique procèdent, pour l'essentiel, d'une prise en considération globale du mouvement et d'une tentative d'explications causales immédiates où la cause, attribuée à l'objet, se formule en un complexe dynamique indifférencié : force/énergie/élan/impulsion. Plus généralement, il apparaît que, dans leur cursus et même à l'université, les élèves font un usage équivoque des mots « force » et « énergie » (De Bueger-Vander Borghet & Mabilie, 1989) ;

– l'énergie est associée à « produit », « utilisation » et « consommation »

Les medias véhiculent l'idée que l'énergie n'est pas inépuisable, que son utilisation tend à la faire disparaître. D'où l'idée prégnante chez les élèves que l'énergie poursuit un « cycle de vie » : « *elle est générée, elle est active et ensuite elle disparaît* » (Watts, 1983, p. 215). Cette idée recouvre plutôt ce que le physicien appelle « *énergie utilisable* » mais est contraire à l'idée de conservation (Ballini et al, 1997) ;

– l'énergie est associée à « activité »

La preuve de l'existence de l'énergie est l'activité (et parfois l'activité elle-même est appelée énergie). Le mouvement est généralement donné comme exemple d'activité mettant en œuvre de l'énergie (Watts, 1983). *A contrario*, l'absence d'activité, l'immobilité, est une raison suffisante pour nier l'existence d'énergie (Bliss & Ogborn, 1985). Par ailleurs, comme ont pu le repérer J. Solomon (1982) ou Bliss & Ogborn (1985), le critère animé se conjugue souvent au critère humain, vivant. L'énergie est attribuée à ce qui est humain ou à des objets animés traités comme s'ils avaient des attributs humains ;

– l'énergie est associée à « source »

Des sources d'énergie sont nécessaires pour produire de l'énergie. En revanche, comme le soulignent Ballini et al. « *produire de l'énergie ne signifie pas posséder de l'énergie* » (Ballini et al., 1997, p. 88). J. Solomon relève que pour les élèves « *l'énergie n'est pas stockée dans la nourriture mais elle donne de l'énergie quand on la mange* » (Solomon, 1982, p. 416). Parfois même, l'énergie est identifiée aux sources d'énergie. Le concept n'est pas différencié de l'objet (Boyes & Stanisstreet, 1990).

1.2.2. Les caractéristiques curriculaires en sciences physiques

Malgré les changements de programme, d'un curriculum « traditionnel » à un curriculum « innovatif » (programme actuel), la conception traditionnelle de l'enseignement de l'énergie reste largement prépondérante chez les enseignants (Koliopoulos & Ravanis, 1998). Or, ces auteurs soulignent combien certaines des caractéristiques du curriculum « traditionnel » participent d'une part à la dispersion des significations prises par le concept d'énergie et d'autre part à laisser de côté une approche qualitative qui est pourtant plus accessible aux élèves.

Reprenons, les caractéristiques du curriculum traditionnel qui provoquent des dysfonctionnements d'ordre linguistique dans l'apprentissage des élèves et associons-les aux réponses proposées par le programme actuel ou certains projets pour y remédier.

La première caractéristique est de limiter l'approche énergétique à travers des phénoménologies (mécanique, calorimétrie, électricité, etc.) prises séparément (Tiberghien, 1994). Un tel découpage du concept d'énergie en diverses unités thématiques, sans qu'aucun rapport ne soit formellement établi entre les différents cadres conceptuels phénoménologiques, « *réduit le fonctionnement du concept puisque à chaque fois l'élève est "chargé" d'un sens différent du même concept, et c'est ainsi qu'augmente le risque de tomber dans des malentendus conceptuels* » (Koliopoulos & Ravanis, 1998, p. 168). Le curriculum actuel, qui introduit l'énergie par ses propriétés : transfert, transformation et stockage, permettrait d'aborder simultanément plusieurs types de phénomènes. Le concept d'énergie acquiert alors une signification unique pour toutes les unités thématiques.

La deuxième est d'introduire le concept d'énergie en tant que fonction de mesures observables ce qui limite l'approche énergétique à un niveau quantitatif, sans prendre en compte les connaissances qualitatives des élèves. Or, il est nécessaire d'effectuer « *une sorte de rapprochement entre les conceptions pré-énergétiques des élèves et la nature quantitative de l'énergie* » (Koliopoulos & Ravanis, 1998, p. 168), approche qui fonde plusieurs projets d'enseignement sur l'énergie (Ballini et al., 1997 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1992 ; Tiberghien, 1994).

Le point commun entre ces curricula « constructivistes » (Koliopoulos & Ravanis, 1998) est de chercher à faire construire avant tout l'énergie de façon qualitative. L'énergie apparaît comme un concept universel et donc caractérisé partout et toujours par un même ensemble de propositions, que ce soit sur la base du principe de conservation associé au modèle de chaîne énergétique (Ballini et al, 1997 ; Tiberghien, 1994), des modèles « *fonction* » et « *distribution* » (Lemeignan & Weil-Barais, 1993). Une telle approche universaliste remet en cause les approches de l'enseignement qui particularisent les diverses formes d'énergie (énergie cinétique, potentielle ou nucléaire), approches qui conduisent les élèves à utiliser l'énergie pour désigner un contenu et non des modes de transfert (Toussaint & Trelu, 1986).

Le programme actuel distille une approche constructiviste : « *il est donc proposé de partir des premières idées des élèves sur l'énergie, pour amener ceux-ci à mettre en place le vocabulaire scientifique* », et, en particulier leurs aspects langagiers pour les transformer, comme par exemple : « *l'expression du vocabulaire courant " énergie thermique " qui est impropre scientifiquement parlant. Elle recouvre aussi bien un transfert d'énergie sous forme de chaleur, qu'un stockage sous forme d'énergie interne des molécules. L'objectif de cette partie est donc de remplacer, dans l'esprit des élèves, cette expression par les termes scientifiques exacts*

dans le domaine de la chimie » (programme de chimie, bulletin officiel hors série du 24/09/92).

Si l'obstacle verbal est souvent mentionné dans la littérature ou dans les programmes scientifiques actuels, aucun moyen n'est réellement proposé pour le dépasser. Comment passer de recommandations à l'utilisation effective d'un support qualitatif, retenant des caractéristiques terminologiques, qui convienne à l'ensemble des enseignants concernés par l'enseignement de l'énergie, qui prenne en compte le potentiel linguistique des élèves et qui soit en accord avec le contenu des programmes scolaires ?

2. CADRE THÉORIQUE

Compte tenu de notre projet terminologique, nous avons opté pour une approche strictement déclarative des conceptions. Nous considérons que les connaissances déclaratives correspondent aux éléments constitutifs des conceptions et, qu'à travers elles, nous pouvons décrire leur contenu et l'organisation de leur contenu. Concernant cette organisation interne, nous reprenons l'hypothèse dite du « noyau central » formulée par J.-C. Abric : « *l'organisation d'une représentation présente une modalité particulière : non seulement les éléments de la représentation sont hiérarchisés, mais par ailleurs toute représentation est organisée autour d'un noyau central, constitué d'un ou de quelques éléments qui donnent à la représentation sa signification* » (Abric, 1994, p. 83), vérifiée et reprise par de nombreux autres chercheurs (Flament, 1989 ; Moliner, 1992 ; Guimelli & Rouquette, 1992 ; Verges, 1992).

Nous avons choisi comme élément significatif, le mot, où le mot n'est pas pris comme une simple étiquette mais avec une épaisseur linguistique et sémantique. Les données recueillies s'apparentent à des lexiques ayant une structure. La structuration sémantique existe grâce aux relations sémantiques entre les mots. Poitou & Dubois (1999) ont montré comment les relations sémantiques s'apprécient par la qualité des éléments et l'ordre dans lequel ils sont agencés, mais aussi, comme l'explique B. Laursen (1998), par les types d'appariements effectués. L'ensemble de ces critères sera pris en compte dans notre analyse terminologique.

3. MÉTHODE

L'analyse terminologique se distingue de l'analyse du discours, dans le sens où elle traite des corpus qui s'expriment en dehors du cadre réel de la classe. Ce n'est pas sur ce qui est dit en cours par les enseignants (El

Hajjami et al., 1999), ou échangé en cours entre les enseignants et les élèves (De Bueger-Vander Borgh & Lambert, 1994), que porte notre analyse, mais sur ce qui est disponible chez les différents locuteurs, avant le cours.

Nous nous plaçons résolument en amont de la situation réelle de classe, afin de pouvoir comparer les corpus de façon contrôlée, à un niveau intra comme interdisciplinaire. Autrement dit, cela nous permet de confronter d'une part les corpus de mêmes locuteurs pris dans des contextes disciplinaires différents, et d'autre part des corpus de locuteurs différents dans un même contexte disciplinaire. Rappelons que par déplacement du triangle didactique (figure 1) les trois groupes de locuteurs considérés sont les enseignants, les élèves et les rédacteurs des programmes scolaires français (bulletin officiel hors série du 24/09/92).

Toutefois, pour envisager la comparaison de corpus faut-il encore qu'ils soient comparables. Les corpus sont *a priori* de nature très différente. Les programmes scolaires relèvent, en effet, d'un texte prescriptif tandis que les élèves et les enseignants produisent des énoncés. Pour autant, nous pensons qu'il est possible de les rendre homogènes en exerçant sur eux des transformations maîtrisées parce que « *qu'il s'agisse de corpus suscités par le chercheur (comme c'est le cas pour les élèves ou les enseignants) ou de corpus "authentiques" (comme c'est le cas pour les programmes scolaires), les données ne sont en fait jamais réellement "données" mais construites* » (Maingueneau, 1991, p. 14). Montrons, à présent, comment le choix des modes de sélection et de traitement des données parviennent à rendre ces corpus hétérogènes comparables.

3.1. Mode de sélection des corpus

Nous cherchons à obtenir des corpus sous la forme d'une liste de mots et de réseaux sémantiques associés. Pour cela, nous allons opérer un découpage lexical sur les programmes scolaires et susciter des associations de mots ainsi que la construction de relations sémantiques chez les élèves et les enseignants.

3.1.1. Corpus issus des textes des programmes scolaires

Le programme scolaire se présente sous forme d'instructions écrites à l'intérieur de trois rubriques : « contenus », « objectifs cognitifs » et « activités envisageables ». Nous retenons les deux premières rubriques, rédigées sous forme d'énoncés impersonnels, parce qu'elles détiennent des éléments conceptuels qui nous permettront effectivement d'identifier les mots se référant au concept d'énergie.

Le travail de découpage de ces énoncés du programme a été effectué en deux temps. Premièrement, nous les indexons à l'aide d'un logiciel lexicométrique (« Lexicométrie » édité par Cédic-Nathan) et opérons un travail de réduction linguistique afin d'abstraire uniquement les formes lexicales (les formes grammaticales : à, pour, comme, etc., sont écartées). Deuxièmement, nous retenons tous les mots qui sont employés dans les phrases contenant le terme « énergie » et nous considérons qu'ils sont liés entre eux par le fait même qu'ils sont dans une même phrase.

3.1.2. Corpus issus des productions des élèves et des enseignants

Nous avons interrogé une trentaine d'enseignants et une cinquantaine d'élèves (deux classes) de 1^{er} S, par discipline, selon le même test constitué de deux questions. La première relève de l'association de mots classique : « *Qu'évoque pour vous le terme "énergie" ?* », reconnue comme technique pertinente pour recueillir les éléments constitutifs des conceptions (Abric, 1994 ; Sivade et al, 1993 ; De Bueger-Vander Borght & Mabilie, 1989). Sachant qu'un individu fournit en moyenne entre six et sept mots spontanément (Lieury, 1991), le corpus-enseignant est composé de deux cents citations en moyenne tandis que le corpus-élève est composé de trois cents citations en moyenne. La deuxième incite les élèves ou les enseignants à expliciter comment ils sont passés du terme inducteur « énergie » à chacun des mots cités : « *Établissez des liens, représentés à l'aide d'un trait, entre les mots proposés à la question n° 1 en association avec "énergie" et explicitez-les en un ou plusieurs mots sur le trait* ».

Sur la base de tels corpus, organisés de façon similaire autour d'une liste de termes isolés et de réseaux sémantiques explicités, nous exerçons un traitement mettant en jeu les mêmes critères.

3.2. Mode de traitement des corpus

Le traitement des corpus se réalise à partir de critères quantitatifs et qualitatifs grâce auxquels nous allons pouvoir discriminer les éléments centraux et les éléments périphériques des conceptions.

Nous distinguons deux critères quantitatifs selon qu'ils permettent de hiérarchiser les mots dans les listes de mots ou dans les réseaux sémantiques. Ces critères sont des calculs de fréquence, soit de citations, soit de liaisons, chacune d'elle pondérée par l'ordre d'apparition du mot dans la liste ou le nombre de liaisons du mot dans le réseau (Bruguière, 1997).

Le critère qualitatif repose sur une classification selon des catégories terminologiques associées à « énergie » récurrentes dans la littérature (cf. 1.2.) Nous en avons distingué trois, de terminologie scientifique croissante, allant d'une catégorie regroupant des mots très communs « Qualités et Enjeux », à une catégorie « Sources et Applications techniques » jusqu'à la catégorie la plus scientifique intitulée « Formes et Propriétés ». Dans la catégorie « Qualités et Enjeux », nous classons des mots qui désignent soit des « vertus » individuelles (être en forme, vigueur, etc.), soit des impacts sociaux (pollution, pouvoir, richesse, etc.) Cette catégorie relève d'une conception anthropomorphique et animiste de l'énergie tandis que la catégorie « Sources et Applications techniques » correspond à une approche plus matérialiste de l'énergie et regroupe des mots qui renvoient aux objets qui permettent à l'homme d'obtenir ou d'utiliser de l'énergie (barrage, charbon, électricité etc.) Enfin, la catégorie « Formes et Propriétés » regroupe des mots qui font référence à une approche plus abstraite de l'énergie (conservation, énergie potentielle, transformation, etc.)

3.2.1. Traitement des listes d'unités lexicales

Chacune des unités lexicales appartenant aux listes, est caractérisée par un critère de fréquence de citations (noté %n) et un critère de rang (noté P). Le critère de rang correspond, chez les élèves et les enseignants, à l'ordre dans lequel le mot a été cité (plus un mot est cité en premier, plus son rang est élevé), alors que dans les programmes il traduit l'appartenance du mot à telle ou telle subdivision du texte. La congruence de ces deux critères nous permet d'établir une fréquence de citations, pondérée par le rang de citation (noté %n*P) qui constitue un critère de centralité, c'est-à-dire qu'il permet de reconnaître des « mots clés » ou mots centraux et des mots non significatifs ou mots périphériques.

3.2.2. Traitement des réseaux sémantiques

Selon la même logique, chacune des unités mises en relation dans les réseaux sémantiques est caractérisée par deux critères, le nombre total de liaisons (noté l) et le nombre total de liaisons différentes (noté l') critères qui nous permettent de fixer la fréquence de liaison diversifiée (notée %l*l'), ce qui constitue un autre critère de centralité (Rouquette & Guimelli, 1992). Les termes centraux ainsi repérés seront appelés ici, les termes pivots.

4. ANALYSE DES DONNÉES

L'analyse porte sur les lexiques et les réseaux sémantiques communs aux différents acteurs (élèves, enseignants et programmes

scolaires) ou aux disciplines d'enseignement de l'énergie (physique-chimie, biologie-géologie, géographie). Nous supposons, en effet, que c'est à travers « ce qui est commun » qu'une communication intra et interdisciplinaire est possible (étymologiquement com-muniquer signifie « mettre en commun »).

Nous rappelons que nous examinons uniquement les mots relevant du noyau des conceptions, c'est-à-dire les mots clés et les mots pivots qui sont exprimés ou reliés par les différents groupes d'acteurs. Nous considérons que c'est par ces mots qu'est susceptible de circuler l'information au sein de la classe et *a fortiori* à travers les disciplines. Alors que les mots clés indiquent instantanément les aspects les plus saillants des conceptions, les mots pivots et leurs liens explicités permettent d'en comprendre leurs significations.

Pour visualiser les mots centraux communs, nous avons recours à un mode de représentation graphique triangulaire particulier selon que l'on se place à un niveau intra ou interdisciplinaire. Quant aux réseaux de termes, nous serons amenés à les tracer sous forme de cartes qui visualisent à la fois les liens entre les termes cités et leurs explicitations (Bruguière et al, 1994). Cette spatialisation des concepts s'inspire des nombreux travaux sur les cartes conceptuelles dont le numéro 5 de *Didaskalia* (1994) propose une large synthèse, et s'effectue selon des règles de traçage que nous précisons ci-après.

4.1. La communication au niveau intradisciplinaire

Dans le but de lire au mieux la communication intradisciplinaire, les mots clés et les mots pivots, sont représentés de la façon suivante :

- les mots clés (figure 2) sont répartis sur des schémas triangulaires.

Les mots clés spécifiques à chacun des locuteurs sont placés au sommet du triangle (solaire, mouvement, mécanique, etc.), alors que les mots clés communs à deux types de locuteurs sont placés sur les arêtes (électrique, chimique, force) et que ceux communs aux trois types de locuteurs sont placés au centre du triangle (nucléaire) ;

- les mots pivots (figure 3) apparaissent dans des rectangles grisés (besoin, dégage, source, etc.) et leurs liens sont représentés par des traits au niveau desquels sont retranscrits, dans des formes ovales, les mots justifiant les liens (vie, électricité, nucléaire, chaleur, etc.)

Regardons à présent, successivement dans chacun des contextes disciplinaires, les caractéristiques terminologiques communes aux différents locuteurs.

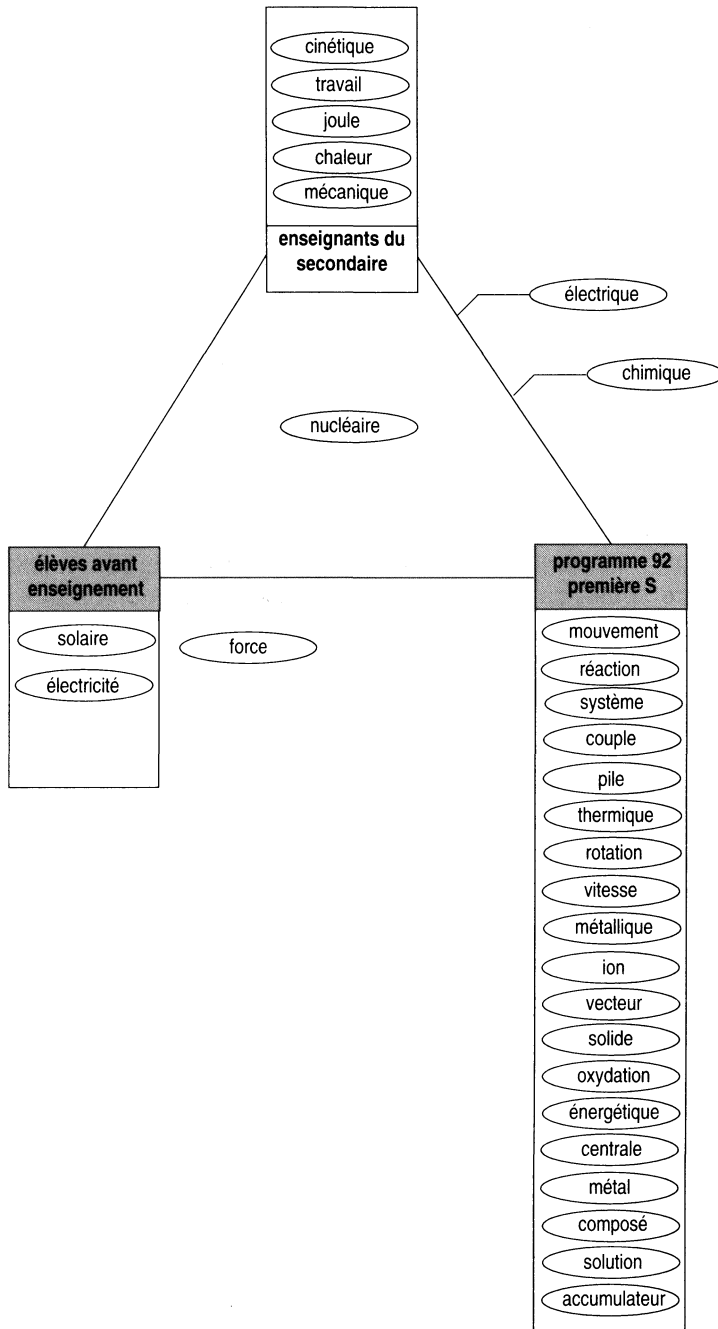


Figure 2 : Les mots clés en classe de physique-chimie (1^{re} S, avant enseignement)

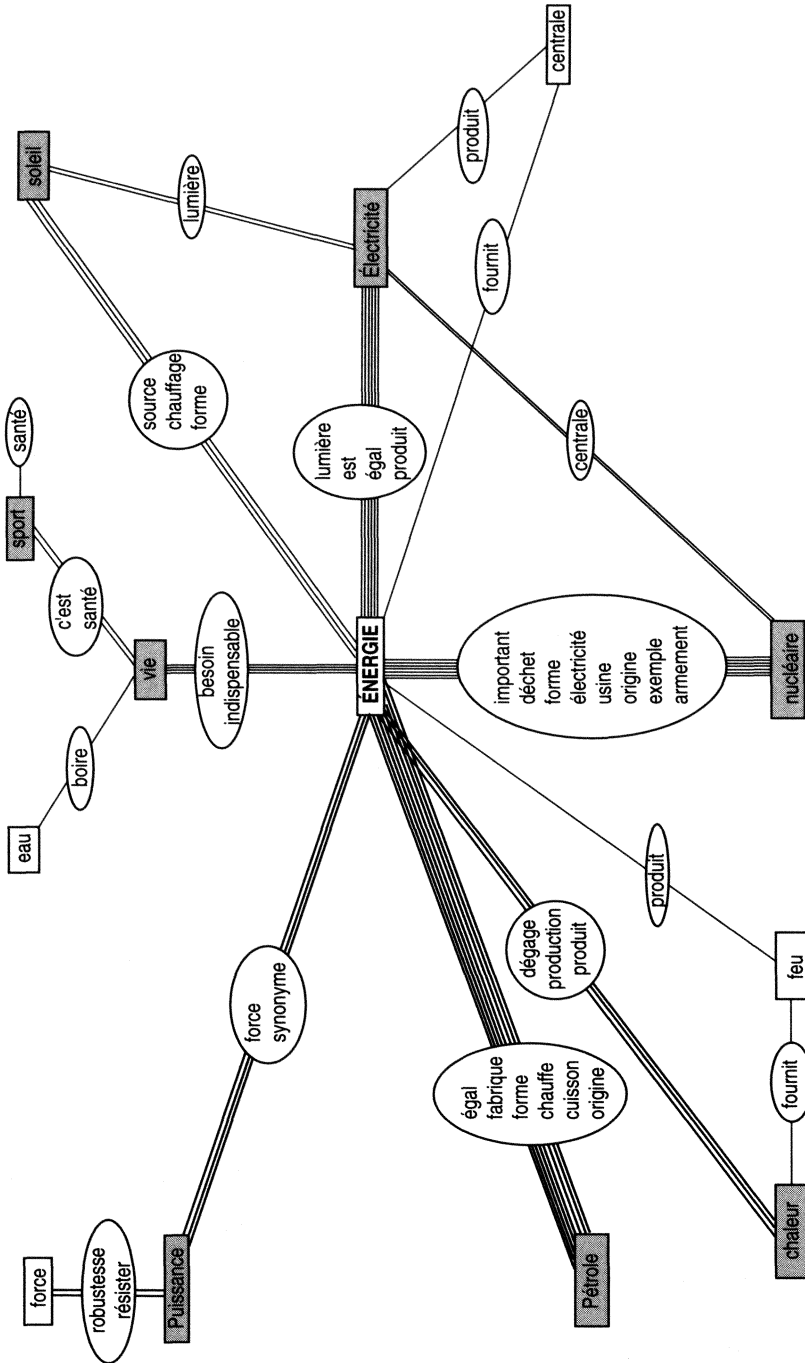


Figure 3 : Les mots pivots chez les élèves en classe de physique-chimie (1^{er} S, avant enseignement)

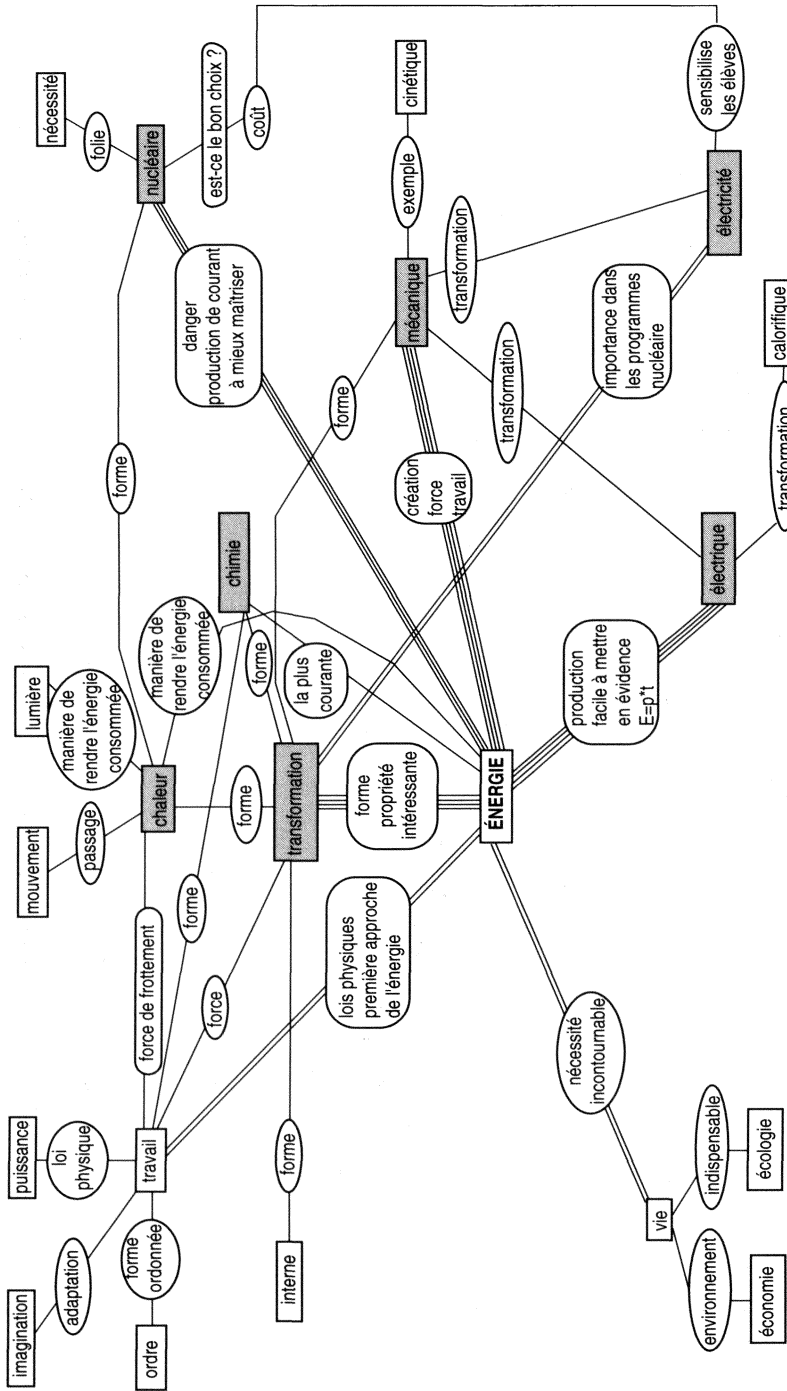


Figure 4 : Les mots pivots chez les enseignants en classe de physique-chimie (1^{re} S, avant enseignement)

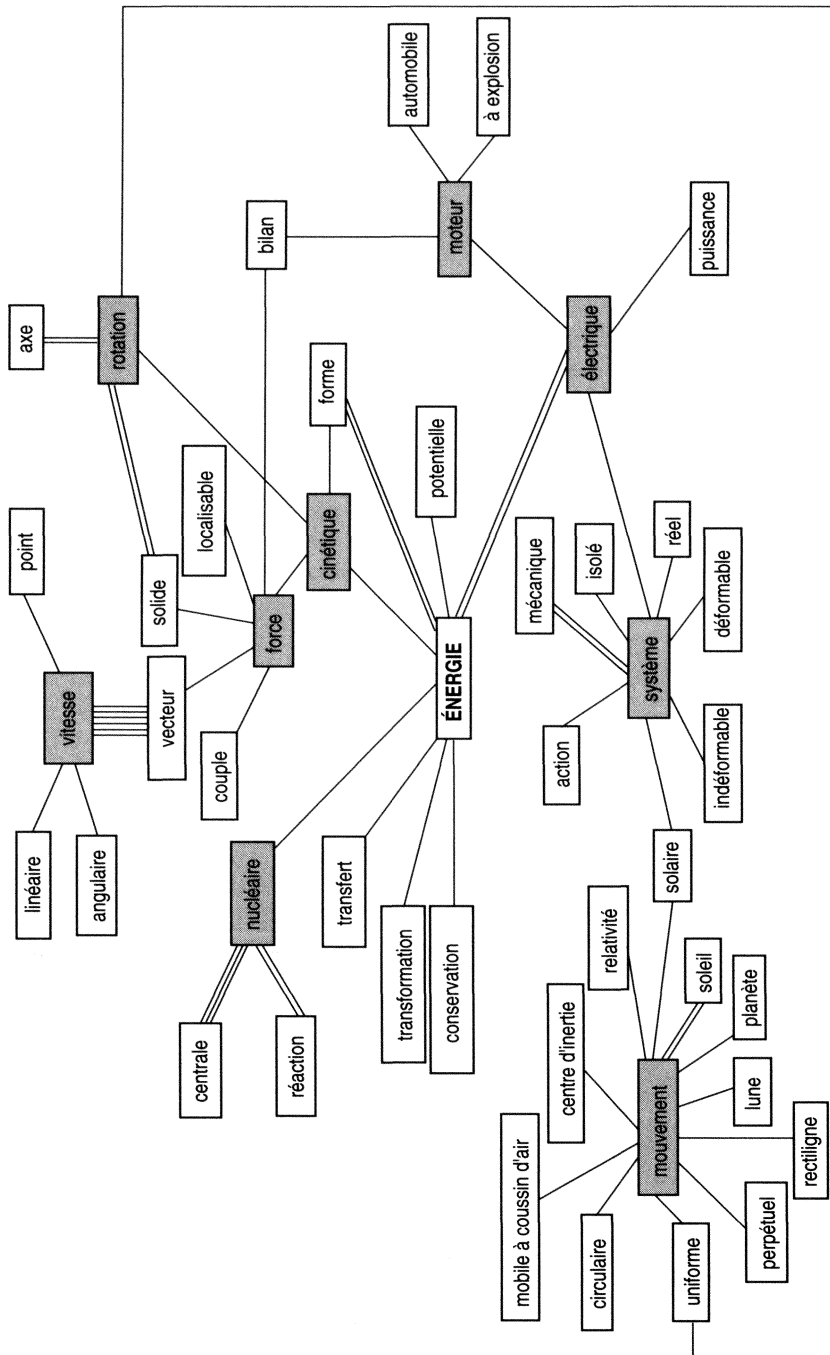


Figure 5 : Les mots pivots dans le programme de physique (1^{re} S, 1992)

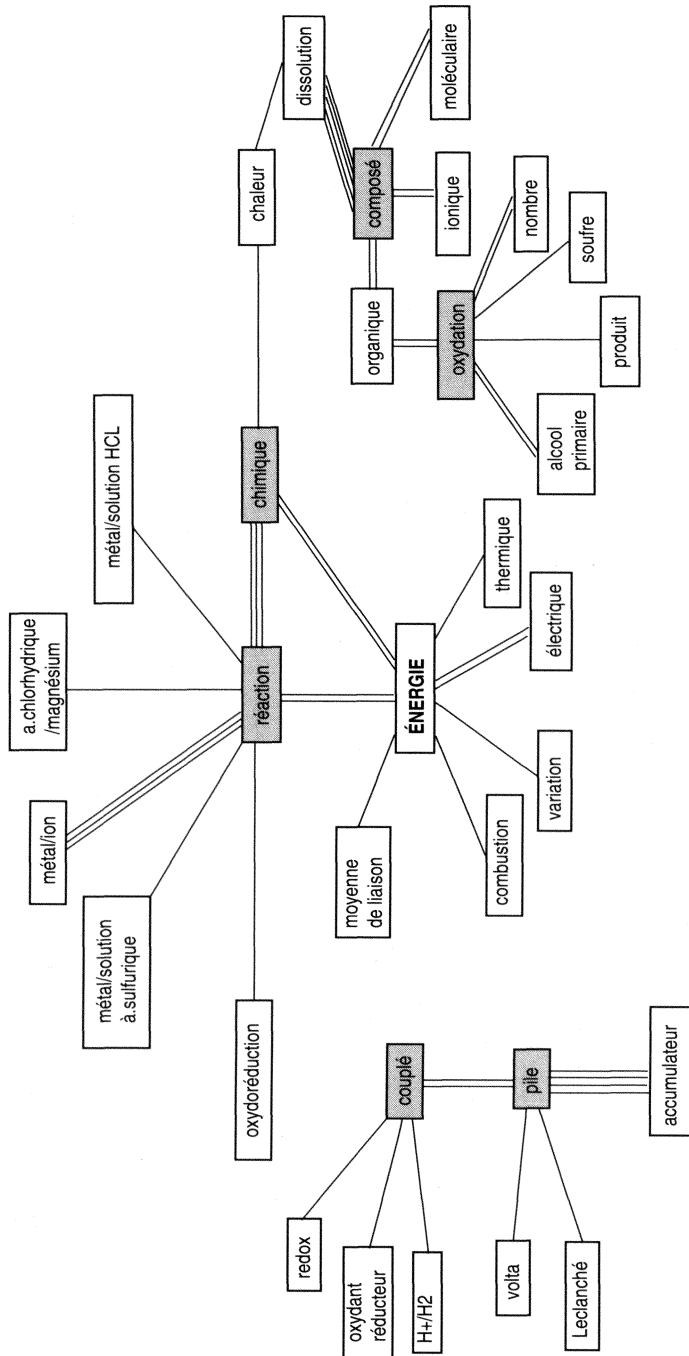


Figure 6 : Les mots pivots dans le programme de chimie (1^{re} S, 1992)

En classe de physique-chimie (figures. 2, 3, 4, 5, 6) :

– seul « nucléaire », qui est à la fois mot clé (figure 2) et mot pivot, est commun aux trois groupes d'énonciateurs (figures 3, 4, 5, 6). Ce terme représente la forme ou la source d'énergie qui produit de l'électricité (nucléaire et électricité sont fortement reliés par les élèves (figure 3) et les enseignants (figure 4). C'est l'exemple standard d'énergie qui pose des questions d'ordre technologique et de maîtrise (centrale, danger, déchet, est-ce le bon choix ?, etc.) « Nucléaire » active des approches très diverses, en termes de « formes et propriétés », « sources et applications », mais aussi « d'enjeux » ;

– à part « force », tous les autres mots clés ou pivots communs (aux enseignants et aux élèves, ou aux enseignants et aux programmes scolaires (figures 5 et 6)) décrivent des formes d'énergie (nucléaire, électrique et chimique). Notons que « force » renvoie à une signification commune très proche de celle du mot « puissance » (robustesse, résister) chez les élèves (figure 3) et à une grandeur vectorielle (vecteur, bilan, couple) dans le programme de physique (figure 5) ;

– « Vie », qui n'est pas un mot clé, active pourtant, chez les enseignants et les élèves, des réseaux montrant le caractère « vital » de l'énergie. De la même façon « transformation » devient un mot pivot principal chez les enseignants (figure 4) et procure avec « forme » une des explications les plus fréquemment utilisées pour les liens. Chez les élèves (figure 3), c'est l'idée de production (produit, fabrique, fournit) qui permet de relier de nombreux mots (dyades énergie/pétrole, énergie/électricité, énergie/feu, etc.)

En classe de biologie-géologie (figures 7, 8) :

– « solaire/soleil » est l'unique mot clé commun aux trois groupes d'énonciateurs (figure 7). La relation solaire/nucléaire est prépondérante, aussi bien chez les élèves que chez les enseignants (figure 8). Elle s'exprime dans une triade énergie/soleil/nucléaire qui oppose les « qualités et enjeux » de ces deux types d'énergie ;

– « ATP » joue le rôle de mot pivot chez les enseignants (figure 8) parce qu'il permet de relier des phénomènes énergétiques rencontrés en biologie-géologie comme la respiration, la photosynthèse ou le mouvement. Notons que « mouvement » est commun aux enseignants et aux programmes (programme de sciences de la Vie et de la Terre, bulletin officiel hors série du 24/09/92) dans lesquels on trouve des expressions comme

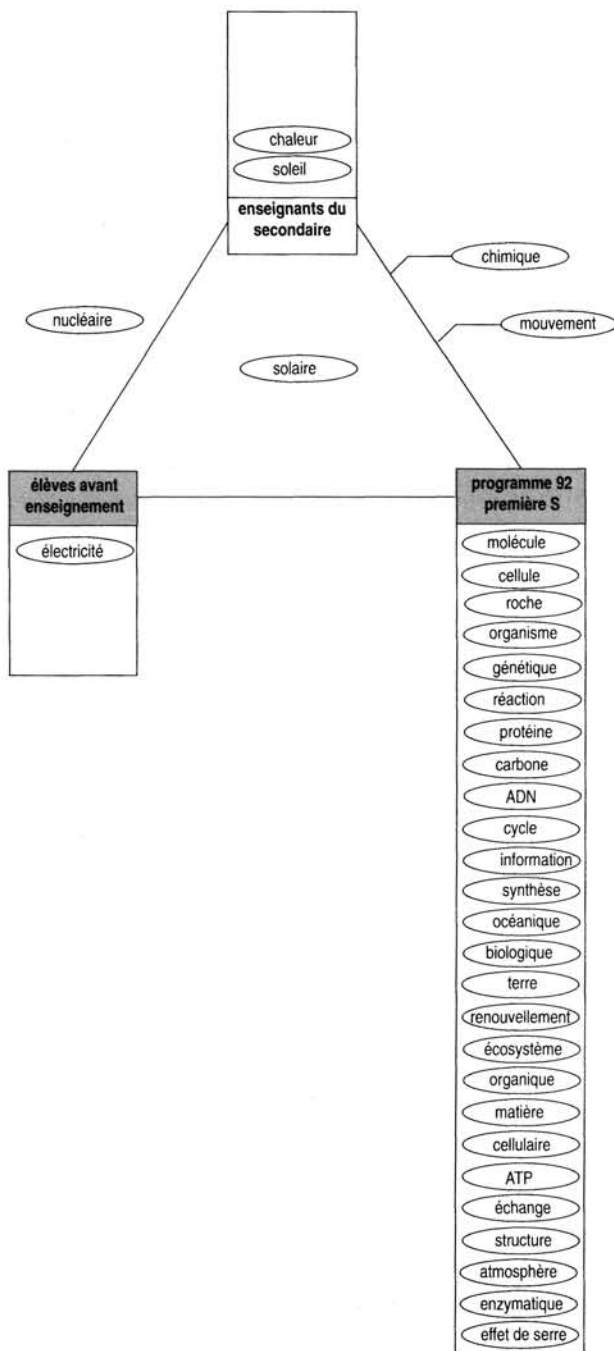


Figure 7 : Les mots clés en classe de biologie-géologie (1^{re} S, avant enseignement)

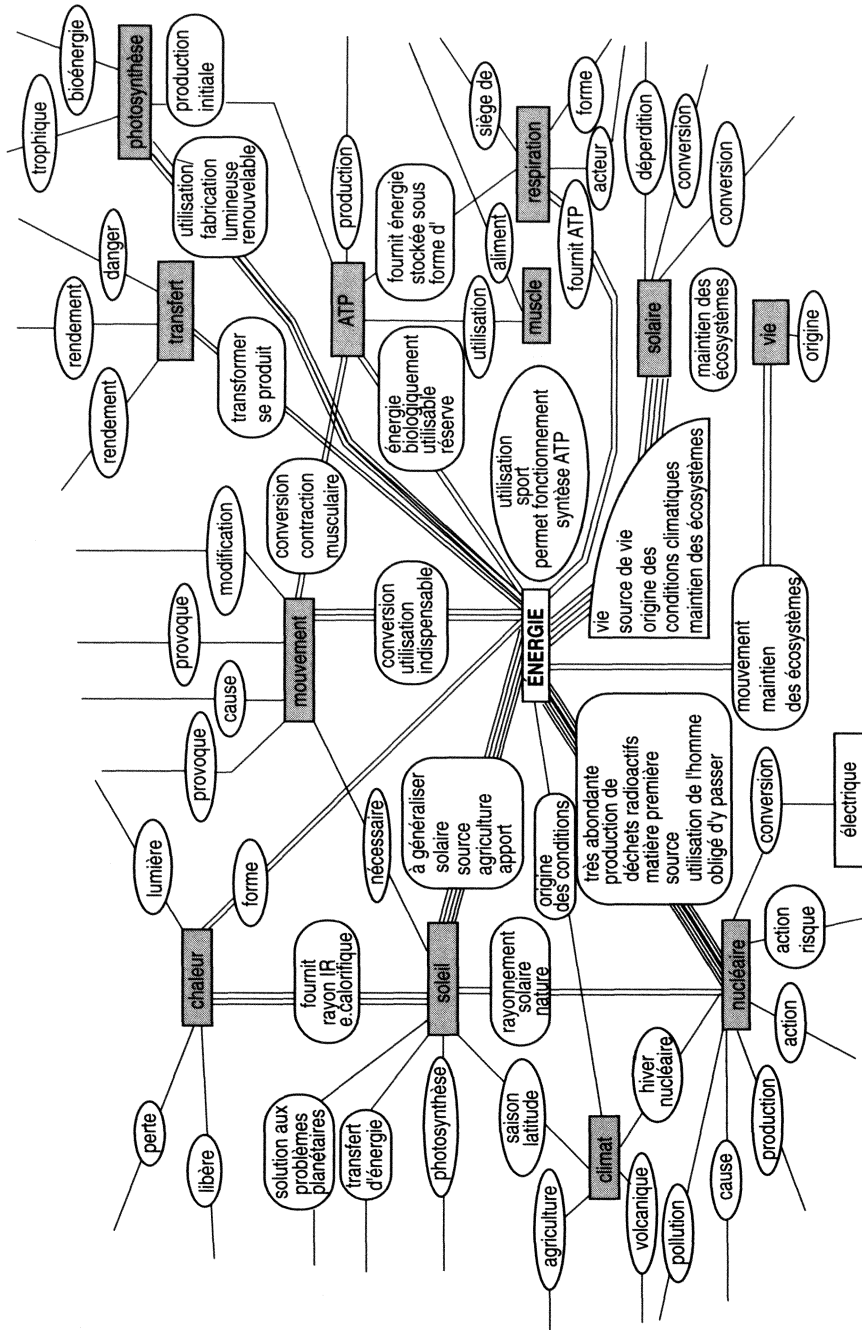


Figure 8 : Les mots pivots chez les enseignants en classe de biologie-géologie (1^{re} S, avant enseignement)

« mouvement de l'écorce terrestre », « mouvement cellulaire ». C'est le terme de « conversion » qui, chez les enseignants (figure 8), explique le plus souvent les passages d'une source à une forme d'énergie (dyade nucléaire/électrique) ou à un effet (dyade ATP/mouvement), même si l'on retrouve aussi les termes (fournit, produit, fabrique) utilisés par les élèves (figure 3).

En classe de géographie (figures 9, 10) :

– les seuls mots clés communs, « solaire », « nucléaire », « électricité » et « force », le sont entre les enseignants et les élèves (figure 9). À mieux regarder, il est vrai que le lexique du programme de géographie (programme de géographie, bulletin officiel hors série du 24/09/92) s'articule principalement autour du champ relatif à l'étude de la France qui ne traite pas de questions énergétiques ;

– les réseaux de relations se nouent principalement chez les enseignants (figure 10) entre énergie-électricité/nucléaire/dépendance, qui privilégient les aspects « sources et applications » mais aussi « enjeux » de l'énergie. Ce sont des termes empruntés à l'idée de production (fournit, produit) qui servent à relier de nombreuses dyades (nucléaire/énergie, nucléaire/électricité, soleil/puissance, etc.)

Nous pouvons noter une approche prépondérante de l'énergie par l'idée de formes, renforcée peut-être par le type de question (le substantif énergie n'appelle-t-il pas un qualificatif ?) Cette approche est largement critiquée par Lemeignan & Weil-Barais (1993) : « *Procéder ainsi est, en quelque sorte, avancer que l'énergie est cinétique, potentielle, mécanique, avant d'être énergie, concept universel et donc caractérisé partout et toujours par un même ensemble de propositions* » (Lemeignan & Weil-Barais, 1993, p. 70). Néanmoins, l'existence d'un niveau de communication intradisciplinaire construit sur des formes d'énergie nous interroge sur le statut que nous devons accorder aux formes d'énergie, sur la façon de les mettre en relation avec d'autres concepts, d'autant que l'idée de forme peut activer chez les locuteurs des catégories sémantiques de nature très différente mais aussi des articulations en termes de transformation, production, conversion, laissant entrevoir une propriété fondamentale de l'énergie. Comment passer de l'idée de forme à celle de propriété de transformation que possède l'énergie ?

Sur le plan graphique, remarquons que les lexiques des élèves sont concentrés autour de quelques mots alors que ceux des enseignants et des programmes sont plus dispersés. Il s'ensuit des réseaux de relations avec des structures très différentes. Les élèves offrent des réseaux assez

linéaires, convergeant vers « énergie », alors que les enseignants activent des réseaux plus intégrés (nombreuses triades) et les programmes, des réseaux arborescents moins intégrés.

4.2. La communication au niveau interdisciplinaire

Pour effectuer des comparaisons au niveau interdisciplinaire, nous avons recours à d'autres représentations graphiques des mots clés, fondées sur les représentations précédentes (l'idée sous-jacente est que la communication interdisciplinaire se construit à partir de la communication intradisciplinaire existante). Ces nouvelles figures articulent les trois triangles disciplinaires de telle façon qu'ils soient centrés sur un même type de locuteur. Nous distinguons alors (figure 11), un cercle central où apparaissent les mots clés à portée interdisciplinaire pour un groupe de locuteurs donné, ainsi que trois triangles périphériques où apparaissent les mots clés à portée intradisciplinaire. Au milieu du cercle sont notés les mots communs aux trois disciplines (soleil, électricité, nucléaire, etc.) et, sur chaque portion de cercle, les mots communs à deux disciplines (chaleur, thermique).

En comparant les trois figures (11, 12, 13), on note la présence de mots clés communs aux différentes disciplines chez les élèves (figure 11) et les enseignants (figure 12) et la quasi-absence de mots de cette nature dans les programmes scolaires (figure 13). Chez les élèves, on retrouve presque tous les mêmes mots clés ou pivots quel que soit le contexte disciplinaire (solaire/soleil, électricité, nucléaire, lumière, puissance, force). En revanche, l'influence disciplinaire est très importante dans les programmes scolaires où aucun mot clé ou pivot n'est commun.

Regardons plus précisément les mots clés à portée interdisciplinaire présents chez les enseignants (figure 12). Ainsi, quelle que soit leur origine disciplinaire, les enseignants évoquent les cinq mêmes mots clés qui expriment des formes d'énergie (solaire), des formes de transfert d'énergie (chaleur), des grandeurs physiques (force), ou encore des effets produits (mouvement). Tous ces éléments lexicaux, à portée interdisciplinaire, relèvent de la catégorie que nous avons appelée « formes et propriétés ».

Concernant les mots pivots (figures 3, 8, 10), seul « nucléaire » est commun à tous les enseignants. Toutefois, les enseignants de géographie appréhendent « nucléaire » selon une logique économique en termes de « sources et applications techniques » tandis que ceux de biologie-géologie et de physique-chimie y associent une approche en termes « d'enjeux » sur l'environnement (pollution, déchets radioactifs, danger, etc.) Les enseignants de physique-chimie partagent presque tous leurs mots pivots, soit avec les enseignants de biologie-géologie, soit avec ceux de géographie.

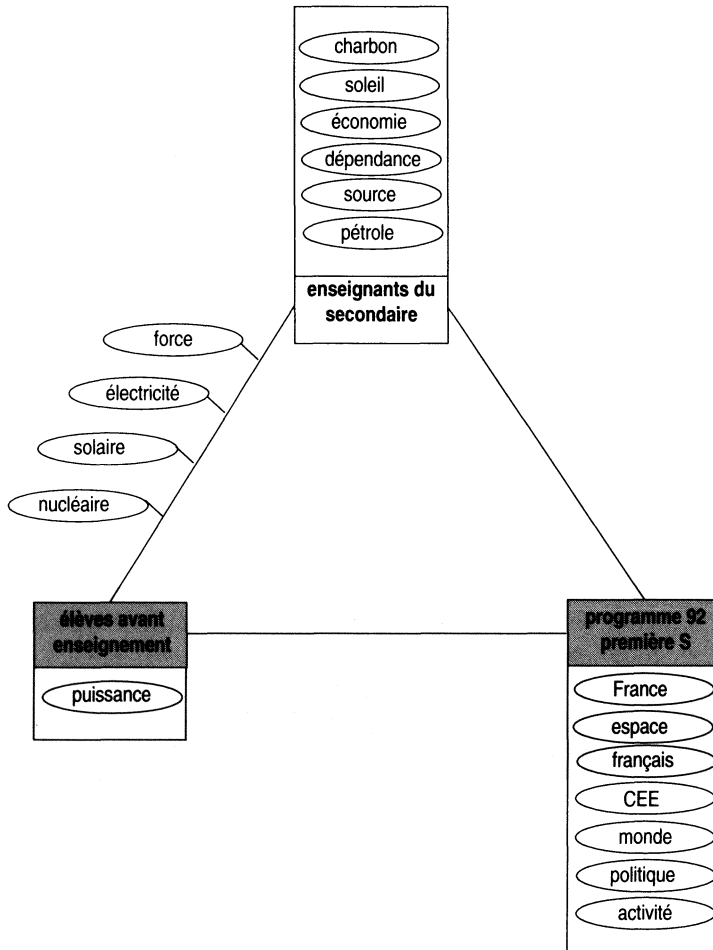


Figure 9 : Les mots clés en classe de géographie (1^{re} S, avant enseignement)

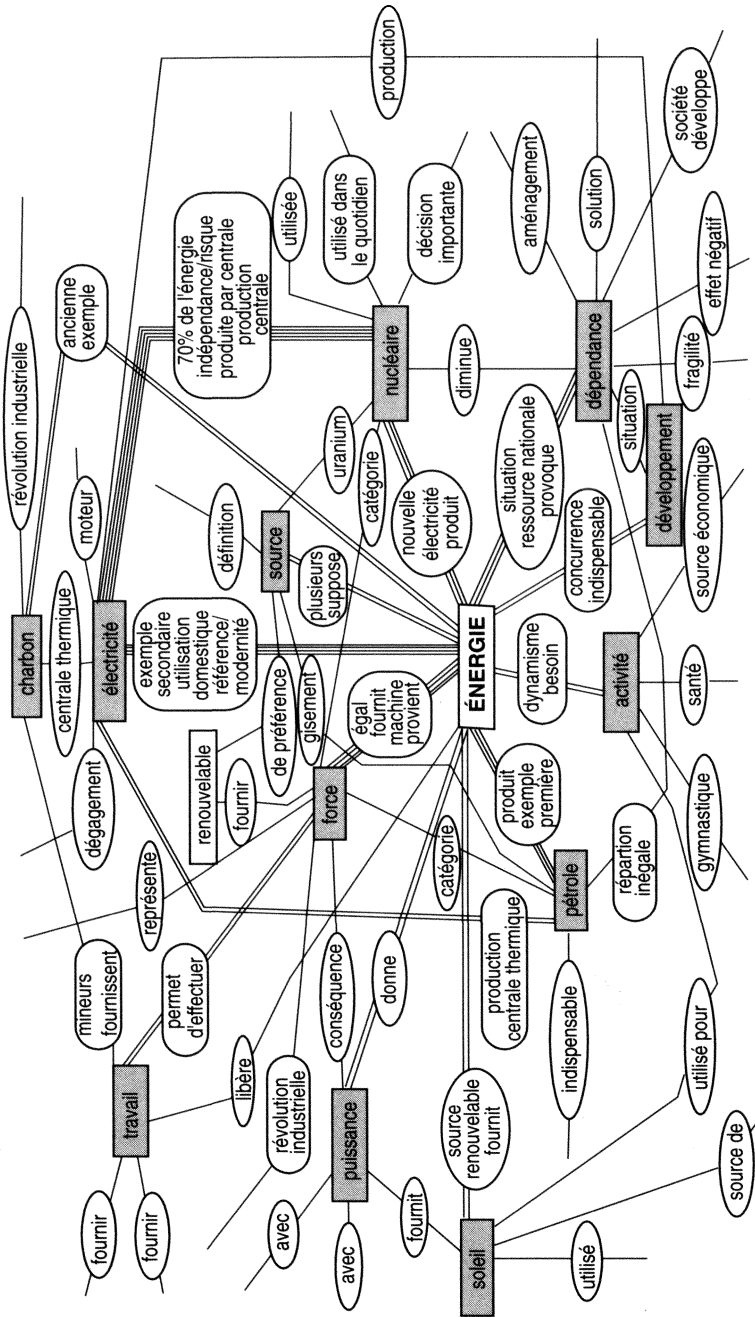


Figure 10 : Les mots pivots chez les enseignants en classe de géographie (1^{re} S, avant enseignement)

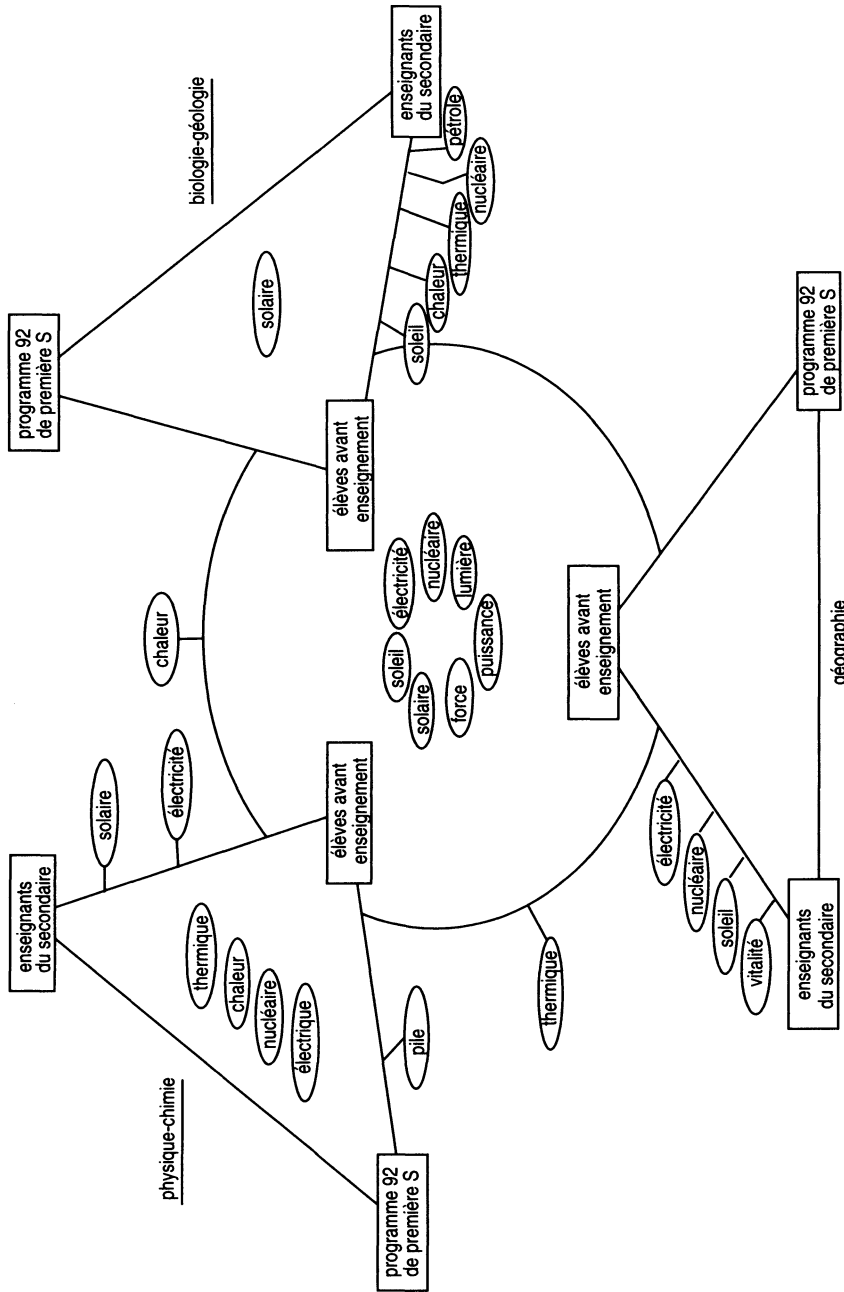


Figure 11 : Les mots clés porteurs de communication intra et interdisciplinaires chez les élèves (1^{er} S, avant enseignement)

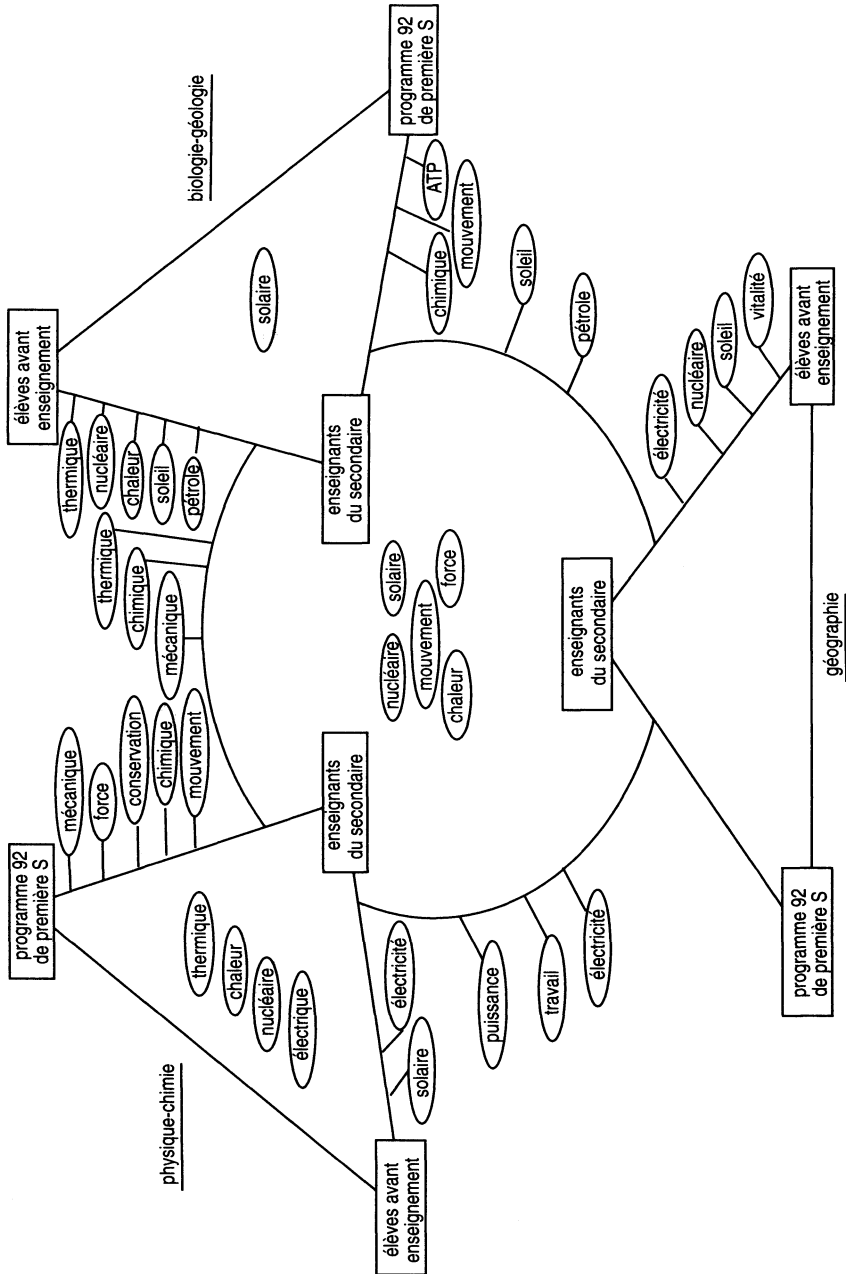


Figure 12 : Les mots clés porteurs de communication intra et interdisciplinaires chez les enseignants du secondaire (1^{er} S, avant enseignement)

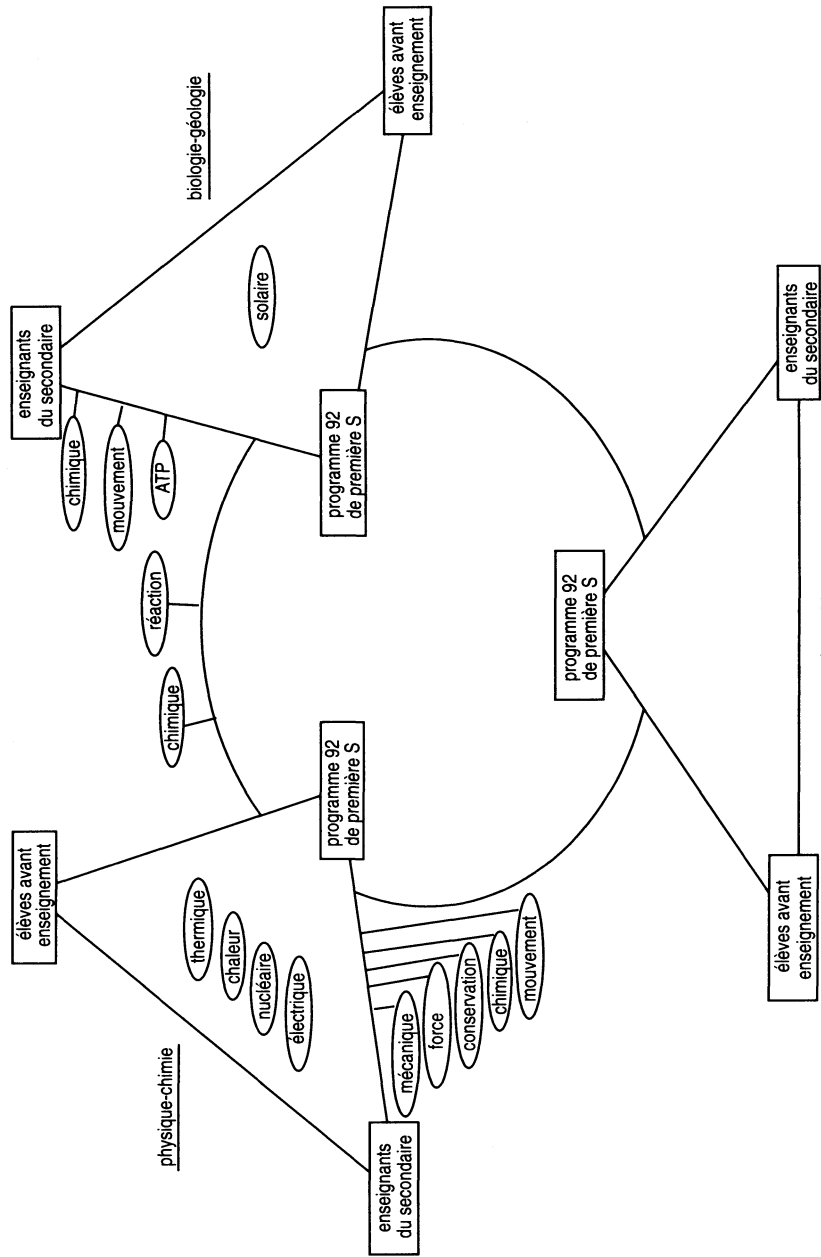


Figure 13 : Les mots clés porteurs de communication intra et interdisciplinaires dans les programmes scolaires (1^{re} S, 1992)

Le même système explicatif principal, articulé autour de l'idée de transformation, est mis en jeu. Les enseignants de physique-chimie parlent de « transformation » ou de « forme » tandis que ceux de biologie-géologie préfèrent « conversion » et que ceux de géographie utilisent « production » qui n'exprime pas, cependant, l'idée de changement présente dans *transformation* et *conversion*.

Manifestement, les programmes ne donnent pas les mots, et au-delà les concepts, sur lesquels les enseignants pourraient s'appuyer pour organiser des mises en relation avec les autres disciplines, alors qu'ils prônent vivement la nécessité de le faire. Les enseignants sont voués à construire un discours à portée interdisciplinaire en dehors d'un cadre lexical explicitement établi par les programmes. Les pistes interdisciplinaires que les lexiques et les réseaux sémantiques des enseignants inspirent, reposent sur la propriété de transformation et autour de l'exploitation de l'énergie nucléaire qui, de la même façon, mobilise chez les élèves de nombreux réseaux.

CONCLUSION

Tout au long de notre article, nous avons vu combien la construction de notre méthode comparative est étroitement liée aux corpus étudiés et à la perspective de recherche. La nature des contenus, l'objectif poursuivi, le cadre théorique sont autant d'éléments qui participent au choix de la méthode. Ainsi, les étapes de standardisation de nos corpus hétérogènes qui ont abouti à un découpage en unités lexicales sont déterminées par la question de recherche concernant la mise au jour d'un référent langagier intra et interdisciplinaire. De la même manière la volonté d'effectuer des comparaisons dans un cadre didactique a engendré la conception de représentations graphiques originales (format triangulaire ou circulaire) des connaissances.

Dans certaines conditions, l'emploi de cet outil a pu être étendu pour appréhender d'autres questions de recherche, en particulier une question voisine s'intéressant aux éléments lexicaux par lesquels une problématique environnementale pourrait être intégrée à l'enseignement/apprentissage de l'énergie (Bruguière, 1997).

Sur le plan des résultats de recherche, les comparaisons des lexiques des trois groupes d'acteurs pris dans différents contextes disciplinaires ont mis au jour que ce sont les aspects de formes et de sources d'énergie qui s'expriment communément et que seuls les enseignants sont porteurs d'une communication intra et interdisciplinaire. Toutefois comment peuvent-ils donner du sens aux idées prégantes et confuses de formes

associées étroitement à celle de transformation (ou conversion, production) et de sources d'énergie ?

Nous proposons que les enseignants de 1^{re} S en physique-chimie, biologie-géologie ou géographie aient recours au référent « chaîne énergétique » lors de l'enseignement de l'énergie, parce que ce modèle présente des caractéristiques terminologiques qui exploitent l'idée de forme/transformation et celle de source d'énergie. Or, comme nous l'avons montré précédemment ces entrées terminologiques semblent pertinentes pour opérer des allers retours intra et interdisciplinaires. En outre, la notion de chaîne énergétique revêt un caractère interdisciplinaire. Proposée comme outil d'analyse dans les programmes français de physique-chimie actuel (bulletin officiel hors série du 24/09/92), elle est disponible en termes de « chaîne de conversion » (Brunet et al, 1993) en géographie, de « chaîne alimentaire » en biologie (Elton, 1927) mais aussi en géologie (Orange & Orange, 1995).

Ainsi, la structure conceptuelle associée à la notion de chaîne énergétique permet une entrée qualitative dans le concept d'énergie à travers les termes évocateurs, de « réservoir », « formes d'énergie », « transfert d'énergie » et « transformation ». Même si ces termes, comme nous le fait remarquer A. Tiberghien (1994), ne sont pas utilisés dans le savoir savant, ils sont porteurs de distinctions nécessaires pour appréhender de façon interdisciplinaire le concept d'énergie.

Derrière la formulation « réservoir » est associé le concept de « formes d'énergie » qui laisse entendre l'énergie comme une grandeur qui permet de décrire des contenus (réservoirs). Les réservoirs peuvent être pris comme des « sources » qui produisent de l'énergie. Si l'énergie décrit un système, le concept de transfert d'énergie prend alors tout son sens et exprime des interactions entre systèmes. L'idée vague de « formes d'énergie » recouvre alors la distinction entre les concepts de formes d'énergie (potentielle, nucléaire, chimique, etc.) et de formes de transfert d'énergie (chaleur, travail électrique, etc.) De la même façon, le terme de « transformation » traduit des transformations au sein d'un système (transformation d'une forme d'énergie en une autre), mais aussi entre systèmes (transformation d'une forme de transfert d'énergie en une autre).

Au delà de ces considérations terminologiques, soulignons que c'est parce que la notion de chaîne énergétique permet de considérer simultanément plusieurs phénoménologies (électricité, phénomènes thermiques, mécanique, etc.), et donc des équivalences entre les formes d'énergie, que le principe de conservation peut être posé comme régissant l'analyse énergétique en physique (Agabra et al, 1980 ; Tiberghien, 1994). Ainsi, la chaîne énergétique peut être prise comme un système isolé ou

non (selon le contexte disciplinaire), où s'appliquent les propriétés fondamentales de conservation mais aussi de dégradation de l'énergie (Bruguière, 1997).

Nous sommes bien conscients qu'une distinction linguistique, reposant sur le référent chaîne énergétique, n'est pas suffisante pour maîtriser le concept d'énergie mais elle nous semble un préalable utile et indispensable dès lors qu'elle repose sur des registres d'expression disponibles qui sont porteurs de mises en relation intra et interdisciplinaires.

BIBLIOGRAPHIE

- ABRIC J.-C. (1994). *Pratiques sociales et représentation*, Paris, PUF.
- AGABRA J., GAUTHERIN J., LEMEIGNAN G., PEZET R. & VERLHAC M. (1980). *Sciences physiques-Libre parcours*, classe de 3^{ème}. Paris, Hachette.
- AUDIGIER F. (1985). *Enseignement de l'énergie*. Rapport de recherche n° 7. Paris, INRP.
- BALLINI P., ROBARDET G. & ROLANDO J.-M. (1997). L'intuition, obstacle à l'acquisition de concepts scientifiques. Propositions pour l'enseignement du concept d'énergie en Première S. *Aster*, n° 24, pp. 81-112.
- BLISS J. & OGBORN J. (1985). Children's choices of use of energy. *European Journal of Science Education*, vol. 7, n° 2, pp. 195-203.
- BOYES E. & STANISSTREET M. (1990). Pupils' ideas concerning energy sources. *International Journal of Science Education*, vol. 12, n° 5, pp. 513-529.
- BROUZENG P. (1980). Étude historique de la notion d'énergie. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 624, pp. 1135-1146.
- BRUGUIÈRE C., CROS D. & SIVADE A. (1994). Les représentations spatiales des concepts associés à l'énergie comme outil de formation des enseignants. *Didaskalia*, n° 5, pp. 105-118.
- BRUGUIÈRE C. (1997). *Contribution à l'identification des réseaux conceptuels associés à l'enseignement-apprentissage de l'énergie (l'enseignement-apprentissage de l'énergie pris dans un contexte pluridisciplinaire et une problématique environnementale)*. Thèse de doctorat, Université Montpellier II.
- BRUNET R., FERRAS R. & THÉRY H. (1993). *Les mots de la géographie, dictionnaire critique*. Montpellier/Paris, Reclus, La Documentation française.
- BULLETIN OFFICIEL (1992). *Hors série du 24 septembre 1992, tome II*. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale, pp. 25-102.
- CHEVALLARD Y. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, la Pensée sauvage.
- DE BUEGER-VANDER BORGHT C. & MABILLE A. (1989). The evolution in the meanings given by Belgian secondary school pupils to biological and chemical terms. *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 3, pp. 347-362.
- DE BUEGER-VANDER BORGHT C. & LAMBERT J. (1994). Des représentations spatiales de concepts : pour quoi faire ? *Didaskalia*, n° 5, pp. 73-90.
- DUIT R. (1981). Understanding energy as a conserved quantity – Remarks on the article by R.U. Sexl. *European Journal of Science Education*, vol. 3, n° 3, pp. 291-301.

- EI HAJJAMIA., LAHLO F., BENYAMNAS. & TIBERGHENA. (1999). Élaboration d'une méthode d'analyse des discours d'enseignants ; cas de l'énergie. *Didaskalia*, n° 15, pp. 59-86.
- FLAMENT C. (1989). Structure et dynamique des représentations sociales. In D. Jodelet (Éd.), *Les représentations sociales*. Paris, PUF, pp. 204-219.
- GUIMELLI C. & ROUQUETTE M.-L. (1992). Contribution du modèle associatif des schèmes cognitifs de base à l'analyse structurale des représentations sociales. *Bulletin de psychologie*, tome XLII, n° 397, pp. 869-885.
- JACOBI D. (1987). *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Berne, Peter Lang.
- KOLIOPOULOS D. & RAVANIS K. (1998). L'enseignement de l'énergie au collège vu par les enseignants. Grille d'analyse de leurs conceptions. *Aster*, n° 26, pp. 165-180.
- LAURSEN B. (1998). Ensembles lexicaux. Problèmes de description et de délimitation. *Cahiers de lexicologie*, n° 73, pp. 131-147.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris, Hachette.
- LERAT P. (1995). *Les langues spécialisées*. Paris, PUF.
- LIEURY A. (1991). *Mémoire et réussite scolaire*. Paris, Dunod.
- MARTINAND J.-L. (1985). La construction de la notion d'énergie. *Rapport de recherche*, n° 3, INRP, Paris, INRP.
- MAINGUENEAU D. (1991). *L'analyse du discours*. Paris, Hachette.
- MOLINER P. (1992). *La représentation sociale comme grille de lecture*. Aix en Provence, Presses Universitaires de Provence.
- ORANGE C. & ORANGE D. (1995). Géologie et biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *Aster*, n° 21, pp. 27-48.
- POITOU J. & DUBOIS D. (1999). Catégories sémantiques et cognitives. Une étude expérimentale en sémantique lexicale. *Cahiers de lexicologie*, n° 74, pp. 5-27.
- ROUQUETTE M.-L. & GUIMELLI C. (1979). *Méthodologie expérimentale des sciences humaines*. Paris, Nathan.
- SIVADE A., CROS D. & BEGEL M. (1993). Techniques d'association de mots : utilisation de filtre-applications aux images mentales liées à l'environnement. *Res Academia*, vol. 11, n° 1, pp. 73-88.
- SOLOMON J. (1982). How children learn about energy or does the first law come first ? *School Science Review*, vol. 63, pp. 415-422.
- TIBERGHEN A., ARSAC G. & MÉHEUT M. (1994). Analyse de projets d'enseignement issus de recherches en didactique. In G. Arzac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand & A. Tiberghien, *La transposition didactique à l'épreuve*. La Pensée sauvage, pp. 105-133.
- TOUSSAINT J. & TRELLE J.-L. (1996). La conservation un grand principe. *Aster*, n° 2, pp. 44-87.
- VERGÈS P. (1992). L'évocation de l'argent : une méthode pour la définition du noyau central d'une représentation. *Bulletin de psychologie, numéro spécial : nouvelles voies en psychologie sociale*, tome XLV, pp. 203-209.
- VIENNOT L. (1989). Bilan de forces et lois des actions réciproques. Analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 951-972.
- WATTS D.M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, vol. 18, pp. 213-217.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les enseignants et les élèves des lycées de l'Académie de Montpellier, qui se sont livrés spontanément aux questionnaires, mais également Jean-Louis Vaisse (secrétaire à l'Université d'Avignon) pour sa précieuse contribution dans la réalisation des figures.

Cet article a été reçu le 11/03/1999 et accepté le 10/01/2001.

Enseigner la philosophie des sciences en DEUG scientifique : ressources et potentialités des travaux pratiques

Teaching philosophy of science at undergraduate level : resources and potentialities of laboratory work

Marie-Geneviève SÉRÉ

Groupe DidaScO
Université Paris Sud XI
Bâtiment 333
91405 Orsay cedex, France.

Dominique GALIANA

Lycée Agricole et Horticole de la Lande du Breil
Rue Fernand Robert
CS84233
35042 Rennes cedex, France.

Résumé

D'ici trois ans toutes les universités françaises auront mis en place un enseignement de philosophie des sciences en DEUG¹ scientifique. Cette

1. Le premier cycle universitaire français dure deux ans après le baccalauréat. Il conduit au DEUG (Diplôme d'Études Universitaires Générales). Son obtention permet la préparation de la licence.

décision a suivi la publication d'un rapport du Professeur Lecourt (1999). En s'appuyant sur des extraits significatifs de ce rapport, ainsi que sur des travaux récents sur l'image des sciences que les élèves emportent de leur scolarité au lycée, il est possible d'envisager des stratégies pédagogiques. En complément de cours magistraux préconisés jusqu'à présent, ce sont les ressources des travaux pratiques qui sont ici en question. On montre qu'il est possible de faire prendre conscience aux étudiants de méthodes expérimentales, de la variété des modèles en science, des relations complexes entre la théorie et l'expérience, bref d'une philosophie de l'expérimentation.

Mots clés : philosophie, épistémologie, éducation scientifique, première année d'université, travaux pratiques.

Abstract

Within three years, every French university will implement classes of philosophy of science at undergraduate level. This decision followed a report written by Professor Lecourt (1999). Significant extracts from this report will be quoted, as well as recent studies about the image of science that students draw from school time at Upper secondary school. Both of them allow to envisage pedagogical strategies. Complementary to lectures, as recommended so far, laboratory work as resources are questioned in this paper. What is put forth is that laboratory work may be the opportunity for students to become conscious of various experimental approaches, of the variety of models in science, of complex relationships between theory and experiment, in a nutshell of philosophy of experimentation.

Key words : philosophy, epistemology, scientific education, Undergraduate studies, laboratory work.

Resumen

En tres años, las universidades francesas habrán implantado una enseñanza de la filosofía de la ciencias en DEUG científico. Esta decisión fue publicada en un informe por el profesor Lecourt (1999). Apoyándose en resúmenes significativos de este informe, así como en trabajos recientes sobre la imagen de la ciencia que los alumnos traen de su escolaridad en el liceo, se hizo posible proponer estrategias pedagógicas. Como complemento de los cursos magistrales preconizados hasta el presente, se hace uso de los recursos de los trabajos prácticos. Esta presentación muestra que es posible hacer tomar conciencia a los estudiantes de métodos experimentales, así como también de la variedad de los modelos de la ciencia, y de las relaciones complejas entre la teoría y la experiencia, en resumen, de una filosofía de la experimentación.

Palabras claves : *filosofía, epistemología, educación científica, primer año de universidad, trabajos prácticos.*

Avant de quitter l'arène politique, et de se décharger du poids du Ministère de l'Éducation nationale française, le Professeur Claude Allègre prit une décision d'une grande originalité : il allait falloir enseigner la philosophie des sciences à l'Université ! Cinq postes d'enseignants-chercheurs étaient créés et les universités disposaient de trois années pour mettre en place cet enseignement. Cette décision a été l'objet de débats avant de passer à l'arrière-plan des préoccupations des débatteurs avec l'arrivée d'un nouveau Ministre. Une des questions était et reste : qui fera cet enseignement ? Nous voudrions apporter ici le point de vue de praticiens, enseignants de biologie ou de physique, et de chercheurs en didactique. Nous défendons en effet l'idée que toute expérience mise en scène, lors de travaux pratiques notamment, exhibe une relation spécifique entre les données de l'expérience (observations ou mesures), les élaborations théoriques, et les conclusions qu'on en tire. Il serait naïf de penser cette relation comme s'établissant entre deux « mondes » (la réalité et le monde des idées) différents et nettement séparés. Il n'est que de penser aux instruments de mesure qui sont du côté du réel et qui sont « *des théories réifiées* » (Bachelard, 1966). Les relations sont complexes et nous défendons l'idée que c'est de la bonne philosophie que de regarder de près cette relation complexe dans quelques cas particuliers, faisant partie du vécu des étudiants. C'est à partir des éléments liés à la pratique expérimentale, considérés comme une base de discussion, qu'une réflexion philosophique plus approfondie pourra être initiée.

1. LE RAPPORT LECOURT : L'ENSEIGNEMENT DE LA PHILOSOPHIE DES SCIENCES (1999). EXTRAITS DES HYPOTHÈSES ET ATTENDUS

Dans son rapport réalisé grâce à de nombreuses consultations menées dans les universités françaises, le Professeur Lecourt situe d'emblée le débat scientifique au plan social.

« Le débat social autour de la science ne trouve guère d'écho dans l'enseignement scientifique.

Les étudiants peuvent ainsi avoir le sentiment d'un profond hiatus entre la science qu'ils apprennent et la société où ils seront appelés à mettre en œuvre les compétences qu'ils auront acquises au terme d'études extrêmement lourdes.

Il semble qu'on s'accorde à considérer que la philosophie des sciences retient mieux l'attention des élèves ingénieurs dès lors qu'on l'arrime à une réflexion philosophique générale mettant en jeu l'esthétique et l'éthique autant que la politique ou l'économie. » (Lecourt, 1999, p. 13).

Mais il souligne aussi que c'est une meilleure connaissance de « la pensée scientifique » qui permet de communiquer avec les autres formes de pensée, technique, artistique, politique, éthique.

Il s'agit de « (...) *dégager les ressorts philosophiques de la pensée scientifique.* » (Lecourt, 1999, p. 24).

Quand le Professeur Lecourt évoque ses rencontres avec des universitaires, il conclut à la nécessité de ne pas alourdir les programmes, au nom desquels la communauté universitaire pourrait rejeter ce nouvel enseignement. Il s'agit alors de « (...) *montrer aux étudiants ce mouvement de la connaissance* ». (Lecourt, 1999, p. 23).

L'idée que nous défendons est de répondre à ces préoccupations en profitant de l'enseignement lui-même pour y voir les étapes de ce mouvement. On trouve alors l'affirmation suivante qui nous paraît cruciale : « *Si les physiciens avaient, par exemple prêté plus d'attention aux ressorts philosophiques de la pensée scientifique, certaines voies de recherche n'auraient pas été désertées pour être retrouvées par les chercheurs aux prix de grandes difficultés théoriques, avec parfois cinquante ans de retard, comme on a pu le voir en physique à propos du phénomène de dépendance sensible aux conditions initiales déjà théorisé par Poincaré et Hadamard au tout début du XXème siècle. Une philosophie des sciences apparaît ainsi toujours susceptible d'ouvrir l'esprit des chercheurs à l'éventualité d'autres voies de recherche que celles qui, à un moment donné, mobilisent leur communauté.* » (Lecourt, 1999, p. 24).

C'est bien l'idée que la philosophie des sciences ne se limite pas à regarder hors du laboratoire, et à penser la façon dont le corps social prend en compte ses résultats et sa pensée. C'est l'idée que la philosophie se doit de considérer le fonctionnement de la science et des scientifiques et peut participer à ce qu'ils suivent des voies plus efficaces. Le Professeur Lecourt le souligne : « (...) *un enseignement de philosophie des sciences, pour peu qu'on le conçoive en prise directe sur les problèmes qu'affrontent les diverses disciplines, (...) s'avérerait ainsi utile à la recherche elle-même.* » (Lecourt, 1999, p. 25).

L'impact de la philosophie des sciences dans ses relations avec la technologie et les applications telles l'agriculture, est également clairement souligné.

2. LES LEÇONS À TIRER D'ENQUÊTES SUR L'IMAGE DES SCIENCES DES ÉTUDIANTS : chaque situation d'expérimentation donne une représentation paradigmatique de la science à laquelle elle participe

En France et plus encore à l'étranger, ces dernières années, on a vu se développer en didactique des enquêtes destinées à répondre à la question suivante : quelle image les élèves, les étudiants et les professeurs se font-ils du fonctionnement des sciences ? Les objectifs et hypothèses sous-jacentes ont été variés. Beaucoup visaient à détecter le décalage qui existe bien souvent entre la réalité du fonctionnement social des sciences (le poids de la communauté scientifique dans la validation des avancées de la science, évoqué par D. Lecourt comme on l'a vu ci-dessus) et l'image que les personnes s'en font (Nott & Wellington, 1993). Dans certains pays comme le Canada, ces enquêtes ont eu une réelle influence sur les programmes : le socio-constructivisme a fortement teinté la formation des enseignants et a ainsi pénétré l'École et l'Université.

D'autres enquêtes ont reposé sur l'idée, le plus souvent implicite, que chaque individu a des convictions épistémologiques, non formulées, mais qui sont sous-jacentes à la façon dont il articule théorie et expérience, et dont il traite les données. Des enquêtes ont ainsi montré le réalisme des enseignants de physique, leur inductivisme spécialement en France, et le plus souvent, leur positivisme. Cependant, les questions s'affinant peu à peu, les interprétations des réponses s'affinèrent elles aussi (Leach et al., 2000). On en vient actuellement à ne plus interpréter les réponses en termes de positions épistémologiques. L'influence de la question est reconnue, mais plus encore celle de la situation elle-même. On met ainsi en évidence la variété des liens théorie-expérience, et l'importance de présenter des situations qui fassent comprendre cette variété et cette richesse. Il reste donc à exploiter l'idée que les situations elles-mêmes, par exemple celles rencontrées en TP, induisent des réponses manifestant une épistémologie, c'est-à-dire une relation théorie-expérience, qui leur est spécifique.

L'idée serait donc qu'il ne faut pas mettre de côté ce que l'enseignement de lycée et de début d'université imprime dans l'esprit des élèves et étudiants. L'idée serait que les situations présentées au lycée et en DEUG participent réellement à former progressivement une image de la science. Il s'agit peut-être même de présenter, voire de commenter, les dites situations pour qu'elles deviennent efficaces de ce point de vue. En l'occurrence, il faut se garder de penser pouvoir se cantonner à une seule branche des sciences au détriment des autres. La physique, la chimie, les sciences de la Vie et de la Terre, font partie du vécu des lycéens et sont toutes candidates pour participer à l'image des sciences des citoyens. On

peut noter cependant un fonctionnement différent des programmes suivant les disciplines. Les réformes successives font évoluer de la proximité de la vie courante (la chimie des jardins a été récemment à l'honneur) à la proximité de la science telle qu'elle se fait. Ainsi C. Allègre (2000) s'étonne de retrouver dans les manuels de lycée des résultats de ses propres recherches. Alors que nécessairement en physique, ce sont ceux de Newton qui doivent d'abord être étudiés.

La leçon de ces enquêtes est que les enseignements du lycée et du DEUG ont pouvoir à former l'image des sciences chez les étudiants et les préparer à comprendre ce que les médias leur apporteront d'information scientifique dans l'avenir. Nous allons donner quelques exemples de l'exploitation, en ce sens, des activités expérimentales du lycée ou du DEUG.

Réaffirmons une nouvelle fois que la pratique expérimentale en TP, ou en recherche, peut et doit être complétée par des exemples tirés de l'histoire des sciences. Ceci afin de contribuer à enrichir le débat par la multiplicité des situations à analyser sur le plan de la philosophie des sciences.

3. L'AUTHENTICITÉ DES SITUATIONS ET DES DÉMARCHES EXPÉRIMENTALES DANS L'ENSEIGNEMENT

La difficulté est alors de faire « vivre » dans l'enseignement des relations théorie-expérience-conclusions, qui aient un caractère d'authenticité. Ce n'est pas simple, à en croire une étude de la transposition didactique réalisée par les TP de physique au lycée (Richoux, 2000). Les similarités entre les situations de TP au lycée et les activités scientifiques résident essentiellement dans l'utilisation des mêmes instruments. Mais les démarches s'avèrent très différentes de ce qui se passe dans la réalité du laboratoire.

Ce que nous proposons ici est une exploitation des travaux pratiques dirigée vers la compréhension des démarches dans leur complexité, comme base d'enseignement de la philosophie des sciences. Cela suppose de se résoudre parfois à mettre de côté l'acquisition de concepts, théories et modèles au profit des méthodes et démarches. Cela peut se faire en travaux pratiques. Dans un certain nombre de cas, il peut s'avérer utile de s'appuyer sur des activités de type travaux dirigés en analysant sur documents la pratique expérimentale conduite par des chercheurs. Il faut pour cela, connaître la problématique envisagée, le protocole expérimental mis en jeu, les résultats obtenus et les conclusions qui en ont été tirées.

4. LA DÉMARCHE DE MODÉLISATION ET LA VARIÉTÉ DES MODÈLES

On peut se réjouir que les modèles soient de plus en plus présents dans le langage pédagogique et didactique. En effet, prenant la définition de base selon laquelle un modèle est une représentation simplifiée de la réalité sur laquelle un chercheur peut effectuer des mesures et des tests qui ne peuvent l'être sur les objets réels, on voit que c'est bien l'activité fondamentale de tout scientifique. Pour comprendre cette notion en profondeur, il faut aller au-delà de l'idée et en connaître des exemples les plus variés possible.

Il est des modèles mathématiques et d'autres, en chimie ou biologie par exemple, qui ne le sont pas. Il y a des modèles explicatifs (les lois de Newton par exemple en mécanique) et d'autres qui ne le sont pas (modèles de comportement en mécanique des fluides ou modèles structuraux simulés sur ordinateur en stéréochimie). Contrairement à ce qui se passe en physique, on trouve en biologie beaucoup de modèles analogiques liés à une ressemblance de fonction entre objets différents. Par exemple un axone est comparé à un conducteur électrique. De nombreux modèles en biologie sont dérivés de la cybernétique. La figure située en annexe, illustre, à travers leur schématisation, la variété de modèles que l'on peut faire « rencontrer » aux élèves et étudiants. Les faire intervenir dans l'enseignement non seulement pour les faire apprendre mais aussi pour illustrer la démarche de modélisation pourrait constituer une part, non exclusive, mais non négligeable de l'enseignement de philosophie des sciences.

5. LA SÉPARATION DES VARIABLES, LA CONSTITUTION DE TÉMOINS EN VUE DE COMPARAISONS, LE PASSAGE DU PARTICULIER AU GÉNÉRAL : UNE CERTAINE PHILOSOPHIE DE L'EXPÉRIMENTATION

Tels sont quelques-uns des éléments de démarche qu'il est indispensable de comprendre pour avoir une vision intelligente des résultats avancés par les scientifiques et le plus souvent communiqués par les médias.

La physique fournit des exemples fondamentaux de telles démarches : dès l'école primaire il est possible de faire varier un paramètre expérimental en maintenant les autres constants, par exemple en faisant flotter deux bateaux de même forme, l'un en pâte à modeler et l'autre en polystyrène expansé. Plus tard dans la scolarité, les situations sont plus complexes et, si on n'attire pas l'attention des étudiants sur des modalités

de séparation des variables, on constate qu'elles sont bien peu mobilisables dans l'esprit des étudiants. De même les méthodes de contrôle des variables ne s'installent guère dans la tête des étudiants si on ne valorise pas en tant que telle la méthode (par exemple lors de la mise en œuvre de « méthodes de zéro » en mesures électriques).

Pendant les mêmes éléments de démarches posent des problèmes redoutables en biologie. La complexité est une caractéristique incontournable du vivant. Or elle résulte de l'impossibilité de séparer les variables biologiques.

« Est-il possible d'analyser le déterminisme d'un phénomène en l'isolant, puisqu'on observe sur un tout qu'altère en tant que tel toute tentative de prélèvement ? Il n'est pas certain qu'un organisme, après ablation d'organe (ovaire, estomac, rein) soit le même organisme diminué d'un organe. Il y a tout lieu de croire, au contraire que l'on a désormais affaire à un tout autre organisme, difficilement superposable, même en partie à l'organisme témoin. » (Canguilhem, 1965, p. 29).

Tenir compte de l'intégralité du vivant impose une approche systémique qui s'oppose par ses méthodes à l'analyse qui opère plutôt par réduction des difficultés. Mais retenir une approche systémique impose de revenir au tout pour tenir compte de l'intégration du vivant qui reste incontournable.

La réflexion des élèves et des étudiants doit aussi porter sur la spécificité des formes vivantes qui complique le travail du biologiste. En effet, les résultats d'une expérimentation réalisée sur une espèce ou une variété particulière ne sont pas généralisables sans difficultés à une autre variété ou à une autre espèce. L'une des méthodes pour pallier cet inconvénient est de recourir à un modèle animal ou végétal. Lorsque aucun modèle n'est trouvé, on utilise des organismes moins « intégrés », c'est-à-dire moins complexes. Les résultats obtenus chez ces organismes ne sont pas transférables à d'autres espèces. Mais, ils servent de guide dans l'exploration des fonctions chez les organismes supérieurs.

L'individualisation pose encore un autre problème aux biologistes. Comme le souligne Claude Bernard, l'expérimentation consiste souvent en une comparaison entre deux états. C'est la comparaison qui permet d'obtenir, dans ce cas, des résultats. Mais pour pouvoir comparer, il faut travailler sur des objets aussi identiques que possible. Par conséquent, les comparaisons devront se faire avec prudence et prendre en compte la variabilité du vivant. On sait alors la difficulté de passer de l'expérimental au « normal », du pathologique au normal, du génétiquement modifié aux organismes naturels.

Pour prendre en compte ces difficultés, dont tout étudiant doit avoir conscience, il faut envisager l'utilisation de méthodes d'investigation spécifiques. C'est un point de départ intéressant, nous semble-t-il, pour initier une réflexion épistémologique.

Cependant les démarches de comparaison existent dans toutes les branches de la science. Elles ne s'improvisent pas et peuvent être objet de réflexion. Ainsi, quand elles intègrent le facteur temps, elles supposent des précautions spécifiques. C'est aussi là ce qui différencie les sciences biologiques des sciences physiques où les phénomènes sont souvent réversibles dans le temps. Ce n'est absolument pas le cas en biologie. Non seulement deux organismes vivants ne sont pas identiques même s'ils appartiennent à la même espèce, mais un même organisme n'est pas superposable à lui-même au cours du temps ! Soumis au vieillissement ou à un environnement différent, le même objet d'une expérimentation pourra par conséquent avoir des réponses différentes voire opposées. Pour contourner ce problème les biologistes utilisent des témoins. Le témoin permettra d'établir des comparaisons et d'intégrer les évolutions temporelles.

On aimerait voir discuter de constitution de témoins tant en physique qu'en biologie, et de façon comparative entre disciplines.

6. LA PLACE DU DÉTERMINISME ET DU HASARD DANS LES SCIENCES. L'INTRUSION DES STATISTIQUES COMME SUPPORT AUX CONCLUSIONS DES SCIENTIFIQUES

Toujours dans le but de réduire la variabilité individuelle, omniprésente en biologie, il est devenu légitime dans de nombreux cas de réaliser une évaluation statistique. On sait qu'en traitant un nombre assez grand d'organismes vivants dans des conditions aussi proches que possible, il est admis de conclure à l'aide de tests statistiques. Ils permettront d'évoquer un comportement moyen vis-à-vis de tel ou tel facteur. C'est de cette vision que dérivent les notions de facteurs de risque en épidémiologie.

Quand cette notion est abordée, on touche alors à celle de causalité. En effet l'exposition à un facteur de risque augmente la probabilité de développer telle ou telle maladie. Mais il ne s'agit que de probabilité et pas de causalité stricte. Le fait que certains organismes non exposés aux facteurs de risque puissent néanmoins développer la maladie en question, n'est pas simple à comprendre pour des élèves et des étudiants dotés uniquement d'une vision purement déterministe.

On conçoit la pertinence de l'étude de la causalité en philosophie des sciences, accompagnée de celle du déterminisme, du concept de hasard et du domaine de légitimité des statistiques. Or la physique et la chimie au lycée sont parfaitement déterministes. Elles donnent une image d'un monde régi par des lois sans surprise (« les mêmes causes produisent les mêmes effets ») que la science se donne pour but de découvrir peu à peu dans leur immuabilité.

Les inspecteurs, les enseignants et les didacticiens se sont souciés d'introduire progressivement quelques idées alternatives à cette vision simpliste. Ainsi, en classe de terminale S (réforme de 1992), des phénomènes non-déterministes sont-ils abordés à propos de la modélisation des systèmes oscillants. Mais cela peut également se faire en travaux pratiques par exemple par le traitement statistique des mesures. La non-reproductibilité des mesures est en effet une constatation qui cadre mal avec le déterminisme. Une recherche en didactique (Séré et al., 1993) a pu pointer le type de difficultés que les étudiants ont à concevoir la place des statistiques en physique. Ce n'est pas la complexité de l'appareil mathématique (le calcul des écarts moyens quadratiques ou d'un intervalle de confiance) qui est en cause. C'est bien la légitimité des statistiques, et l'intervention du hasard dans cette discipline réputée déterministe, qui faisait problème. Il faut noter que dans le domaine des traitements de données, c'est l'évaluation, le jugement qui intervient, non une vérité unique et reconnue comme telle. En effet des praticiens peuvent ne pas être d'accord sur l'utilisation d'un test statistique (t de Student par exemple) ou non. Ils se reconnaissent le droit de juger de la pertinence de tel ou tel traitement de données. C'est donc bien le lieu où l'étudiant peut toucher du doigt à quel point la science, loin d'être une vérité immuable, requiert jugement et imagination associés à la rigueur.

Ainsi les séances de travaux pratiques, pendant lesquelles les étudiants passent un temps non négligeable à faire des mesures, sont un lieu privilégié pour faire réfléchir sur les prises de données, les méthodes permettant d'en tirer des conclusions et la prudence pour présenter des résultats. Les notions de risque et de confiance devraient, par une réflexion spécifique, sortir du domaine des statistiques pour trouver leur juste place dans les sciences, et donc être comprises de façon scientifique quand elles interviennent dans la vie courante (on associe volontiers de nos jours la notion de « précaution » à celle de risque). Cette première réflexion sur l'utilisation des statistiques, pour conclure, devrait être prolongée, dans un souci de cohérence et de synthèse, par la présentation des raisonnements statistiques et probabilistes dans les domaines avancés des sciences, tels la physique des particules.

7. CONCLUSION

Nous avons défendu le point de vue que les séances de travaux pratiques au lycée et plus encore en début d'université, recèlent une grande richesse de situations qui peuvent susciter la réflexion philosophique. Mais ces richesses sont rarement mises en valeur de ce point de vue, car les enseignants n'ont guère l'habitude d'attirer l'attention des étudiants sur les choix qui ont été faits, en termes de recueil des données, modélisation, théorisation, validation des résultats. L'exploitation des travaux pratiques en ce sens requiert un réel travail qui serait d'autant plus riche qu'il serait interdisciplinaire. Il y a là potentiellement un regain d'intérêt pour les travaux pratiques dont l'animation pourrait être conçue et préparée en équipe pluridisciplinaire.

Bien sûr, la pratique expérimentale ne permet pas, à elle seule, la construction d'une idée plus conforme à la réalité, de ce qu'est la science et de sa philosophie. Mais elle peut fournir une base de discussion permettant une analyse plus approfondie et plus concrète des problèmes philosophiques posés.

BIBLIOGRAPHIE

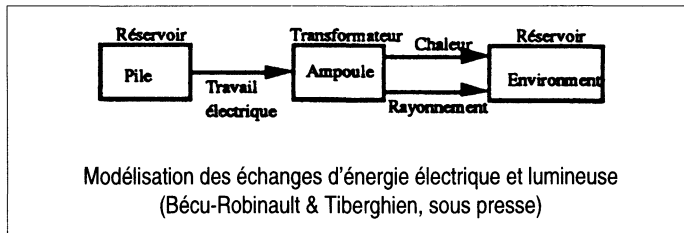
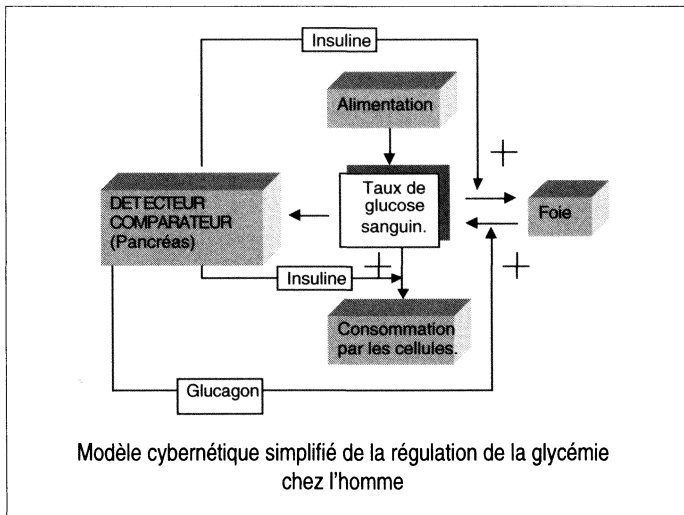
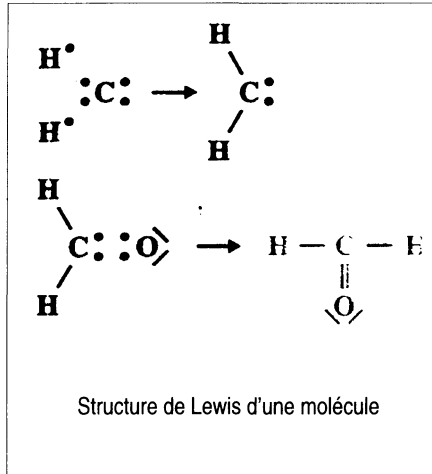
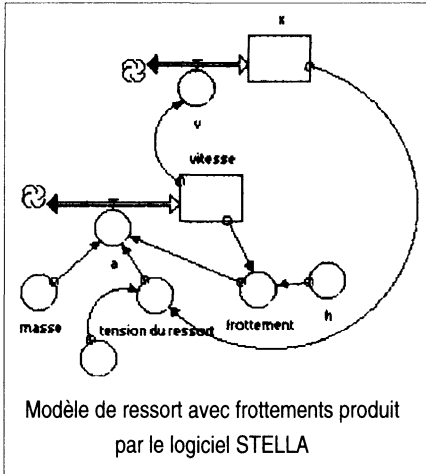
- ALLÈGRE C. (2000). *Toute vérité est bonne à dire*. Paris, Fayard-Laffont.
- BACHELARD G. (1966). *Le rationalisme appliqué*. Paris, PUF.
- BÉCU-ROBINAULT K. & TIBERGHIE A. (sous presse). Introduction of the power concept (traditional labwork). In D. Psillos & H. Niedderer (Éds), *Teaching and learning in the science laboratory*. Dordrecht, Kluwer.
- CANGUILHEM G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris, Vrin.
- LEACH J., MILLAR R., RYDER J. & SÉRÉ M.-G. (2000). Epistemological understanding in science learning: the consistency of representations across contexts. *Learning and Instruction*, vol. 10, n° 6, pp. 497-527.
- LECOURT D. (1999). L'enseignement de la philosophie des sciences. *Rapport au Ministre de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie*. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie.
- NOTT M. & WELLINGTON J. (1993). Your nature of science profile : an activity for science teachers. *School Science Review*, vol. 75, n° 270, pp. 109-112.
- RICHOUX H. (2000). *Rôle des expériences qualitatives dans l'enseignement de la physique au lycée*. Thèse de doctorat, Université Denis Diderot-Paris 7.
- SÉRÉ M.-G., JOURNEAUX R. & LARCHER C. (1993). Learning statistical analysis of measurement errors (First year of University). Students' conceptions and obstacles. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 4, pp. 427-438.

Les programmes de sciences des classes de lycée se trouvent sur le site www.education.gouv.fr

REMERCIEMENTS

Ce point de vue est né de nombreuses discussions avec des chercheurs en didactique français et étrangers, s'affrontant ensemble au but difficile d'améliorer les travaux pratiques. Le travail a été prolongé avec une équipe étrangère qui a manifesté surprise et intérêt pour cet enseignement naissant de philosophie des sciences. Nous remercions John Leach et Jim Ryder (LIS group, Université de Leeds, UK) pour de nombreuses et fructueuses discussions.

ANNEXE



■ COMPTE RENDU D'INNOVATION

Report of innovation

Histoire des sciences et sphéricité de la Terre : compte rendu d'innovation

History of sciences and Earth's sphericity : report of innovation

Hélène MERLE

Laboratoire ERES de l'Université Montpellier II
Groupe IUFM
2 place M. Godechot, BP 4152
34092 Montpellier cedex, France.

Résumé

Une séquence d'enseignement innovante inspirée de l'histoire des sciences a été testée dans une classe de cours moyen avec des élèves de 9 à 10 ans. Ceux-ci ont été confrontés, dans un planétarium, à la découverte de nouvelles étoiles lors de voyages simulés vers le sud, découverte rapportée par les grecs et qui leur a permis de montrer la rotondité de la Terre. La confrontation de cette découverte avec les modèles d'une Terre plate ou sphérique permet aux élèves une construction argumentée de la sphéricité de la Terre. Au cours de ce travail les élèves construisent les notions de champ visuel et d'horizon, mais également une image du fonctionnement de la science proche de l'épistémologie contemporaine.

Mots clés : *histoire des sciences, astronomie, sphéricité de la Terre, modélisation, enseignement élémentaire.*

Abstract

An innovative sequence of teaching patterns inspired from the history of sciences was tested in a third-year elementary school form composed of learners aged 9 to 10 years. These learners were confronted in a planetarium with the discovery of new stars made in the process of simulated southbound trips, a discovery originally reported on by ancient Greek seafarers, which enable them to prove the Earth's rotundity. The confrontation of this discovery with alternative models of a flat or of a spheric Earth enable the learners to formulate a substantiated conception of the spheric Earth as the only valid one. In the process of this work, the learners built up the notions of visual field and of horizon, and were initiated to an approach of science closely related to contemporary epistemology.

Key words : *history of sciences, astronomy, the Earth's sphericity, modelisation, elementary school teaching.*

Resumen

Una secuencia de enseñanza innovadora inspirada en la historia de las ciencias fue probada en una clase con niños con edades comprendidas entre los 9 y 10 años. Estos alumnos fueron confrontados en un planetarium en el descubrimiento de nuevas estrellas a partir de viajes simulados hacia el sur, descubrimiento reportado por los griegos el cual les permitió mostrar la redondez de la tierra. La confrontación de este descubrimiento con los modelos de la tierra plana y esférica permitió a los alumnos una construcción argumentada de la esfericidad de la tierra. Durante el desarrollo de este trabajo los alumnos construyeron las nociones de campo visual y de horizonte, así como también una imagen del funcionamiento de la ciencia próxima a la epistemología contemporánea.

Palabras claves : *historia de las ciencias, astronomía, esfericidad de la tierra, modelización, escuela elemental.*

Le programme d'astronomie de cycle 3 en France, pour les enfants de 9 à 11 ans, comprend l'étude du « *mouvement apparent du Soleil* » et de « *la rotation de la Terre sur elle-même* » (Bulletin Officiel n° 5, 1995, p. 35). Cet apprentissage présuppose la connaissance par les élèves de la forme de la Terre, qui est évoquée dans les programmes de géographie lorsqu'il s'agit de « *comparer des représentations globales de la Terre (globe, planisphère) et du monde (cartes...)* » (Bulletin Officiel n° 5, 1995, p. 35). Les difficultés liées à la conception d'une Terre sphérique ne sont jamais évoquées, et il semblerait que la multiplicité des images de la Terre proposées aux élèves (photos depuis l'espace, représentations diverses,

fixes ou animées) suffise pour construire le concept de Terre sphérique. Or, nous avons montré que ce n'est pas le cas en analysant divers résultats de recherche et en étudiant nous-mêmes les conceptions des élèves français de cet âge (Merle, 1999).

Toutefois il est certain que, dès le plus jeune âge, les enfants sont confrontés à la rotondité de la Terre et peu d'entre eux oseront affirmer devant leurs camarades que la Terre est plate. Face à cette fausse évidence, s'ils souhaitent un réel apprentissage de la part de leurs élèves, les maîtres doivent trouver une stratégie pédagogique qui implique ceux-ci dans un processus de recherche. Une approche historique nous semble alors prendre tout son sens. Le fait de placer l'élève dans un contexte historique proche de ses conceptions réelles peut, en effet, lui permettre de prendre du recul par rapport à ses propres représentations de la Terre (Fillon, 1995). Dans la situation que nous proposons l'enfant va être amené à « revivre » le cheminement qui, dans le passé, avec des moyens d'investigation modestes, a permis de concevoir la sphéricité de la Terre. Au cours de cette démarche il sera conduit à manipuler divers modèles de la Terre, à réfuter le modèle de Terre plate, et à construire ainsi l'image d'une science non figée mais en constante évolution.

Nous pensons que l'histoire des sciences permet des innovations pédagogiques susceptibles de favoriser l'apprentissage tout en développant chez les élèves, grâce à la pratique de la modélisation, de l'argumentation et des débats, une représentation du fonctionnement de la science et un goût pour la recherche.

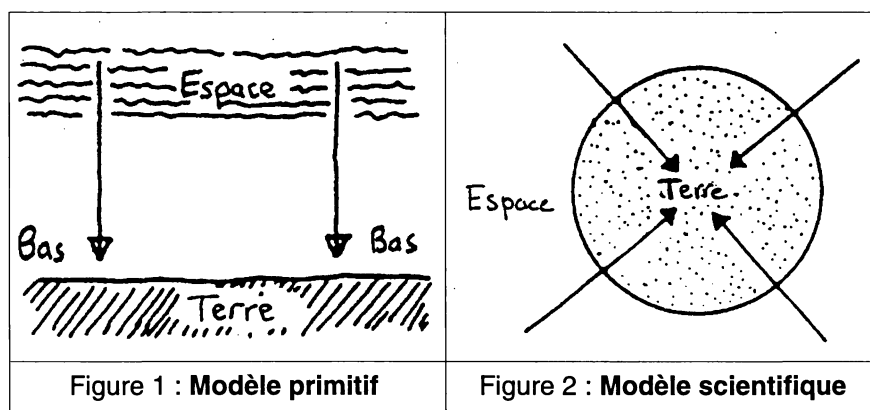
Dans une première partie nous rappellerons les conceptions des élèves de 9 ans concernant la Terre, puis nous présenterons une séquence d'innovation inspirée de l'histoire de l'astronomie et mise en œuvre dans une classe de CM1.

1. LES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES SUR LA TERRE

J. Nussbaum (1979) a montré que la conception la plus élémentaire de la Terre comprend trois composantes essentielles : une Terre plate et horizontale s'étendant à l'infini, surmontée d'un ciel horizontal et parallèle à la Terre, les corps pesants tombant en chute libre selon des trajectoires verticales et perpendiculaires à la surface de la Terre. Cette conception repose sur un référentiel égocentrique et résulte directement de nos perceptions (figure 1).

L'acquisition du modèle scientifique nécessite un saut cognitif considérable qui consiste à imaginer la réalité telle qu'on la verrait de

différentes perspectives et donc la modification simultanée de chacune des trois composantes évoquées plus haut : la Terre devient sphérique, de plus le ciel cesse d'être horizontal pour entourer toute la sphère terrestre, elle-même flottant dans un espace infini. Enfin les chutes s'opèrent selon des directions radiales et les verticales cessent d'être parallèles (figure 2).



Le passage du modèle primitif au modèle scientifique ne se fait pas de façon révolutionnaire, les conceptions se modifient au contraire de façon progressive. Cette évolution conceptuelle est traduite par la figure 3 : elle met en évidence les cinq conceptions les plus fréquentes décelées par Nussbaum et d'autres chercheurs (Vosniadou, 1994 : élèves de 8 et 10 ans, USA ; Baxter, 1989 : élèves de 9/10 ans, Grande Bretagne ; Merle, 1994 : élèves de CM1, 9/10 ans, France).

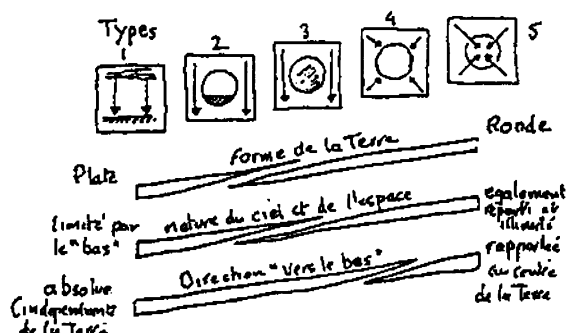


Figure 3 : **Représentation des cinq modèles de la Terre, d'après Nussbaum**

On remarque dans la conception 2 (figure 3) l'idée d'une Terre finie entourée d'espace, mais ce modèle conserve l'idée selon laquelle l'ensemble

des pays de la Terre est réparti sur un vaste espace plat sur lequel vivent les hommes. Dans la conception 3, la Terre devient sphérique, mais les notions de haut et de bas restent liées à une direction absolue de l'espace cosmique, sans aucune relation avec la Terre. La conception 4, enfin, se rapproche du modèle scientifique, mais les directions « haut-bas » ne sont pas rapportées au centre du globe et considèrent la Terre comme un tout.

En France nous avons constaté que la plupart des élèves de CM1 sont fortement imprégnés de l'idée d'une Terre sphérique. Mais les enfants qui affirment que « la Terre est ronde » ne remettent pas toujours en cause les notions de verticales telles qu'elles apparaissent dans un espace restreint à la surface de la Terre. Le modèle dominant est donc le résultat d'un compromis entre le modèle scientifique véhiculé par l'information et l'expérience quotidienne qui nous informe que les corps tombent de haut en bas : c'est donc la conception 3 de Nussbaum qui est la plus répandue en début de cours moyen (47 %), celle d'une Terre sphérique avec des verticales parallèles entre elles. Ainsi, la première difficulté des enfants consiste-t-elle à concevoir des verticales dirigées vers le centre de la Terre.

D'autre part, dans l'apprentissage des mouvements de la Terre, cette dernière n'est pas considérée de façon isolée mais en relation avec l'espace environnant. Lorsqu'on observe le ciel depuis la Terre, l'espace qui est accessible, c'est-à-dire le « ciel » dans lequel on observe les astres, est constitué par l'espace situé au-dessus du plan horizontal (zone dégradée sur la figure 4a, qui représente le champ visuel d'un observateur terrestre, limité par l'horizon). Les élèves doivent concevoir que l'espace vu par cet observateur terrestre est en fait l'espace limité par le plan tangent à la sphère terrestre au point d'observation (zone dégradée de la figure 4b).

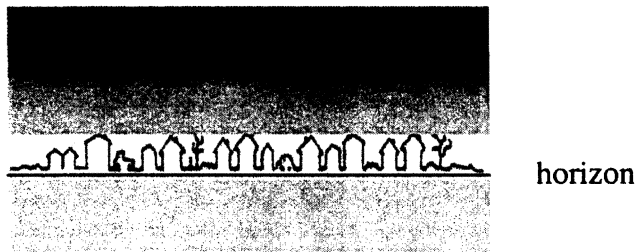


Figure 4a : **Espace local**

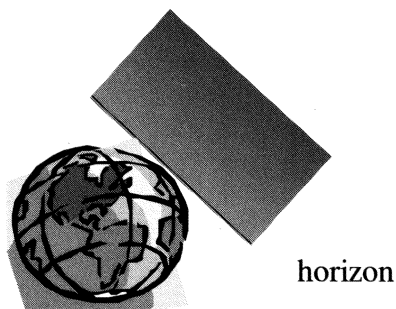


Figure 4b : **Espace réel**

Lorsqu'ils positionnent un globe terrestre à l'intérieur d'un dôme hémisphérique symbolisant la voûte céleste, les élèves devraient donc être capables de dire quelles étoiles sont visibles ou non par l'observateur placé sur la Terre, et pour cela construire le concept d'horizon. Or les élèves ont des difficultés à positionner avec précision ce globe terrestre, en particulier de telle façon qu'une étoile soit visible sur l'horizon pour un observateur terrestre donné.

Les difficultés rencontrées par les élèves dans la conceptualisation de la sphéricité de la Terre concernent donc essentiellement la notion de **verticale** et celle d'**horizon**. Ces deux attributs du concept de Terre sont difficiles à construire, alors même que la sphéricité de la Terre apparaît comme triviale aux élèves.

Nous avons précédemment (Merle, 1995) expérimenté une situation-problème inspirée de l'expérience d'Ératosthène ayant permis la première mesure du périmètre terrestre. Cette mesure s'appuie sur une observation simple : le 21 juin à midi solaire un bâton vertical a une ombre à Alexandrie et n'a pas d'ombre à Syène. Ce phénomène est présenté aux élèves et ceux-ci doivent tenter de le reproduire dans la cour au soleil ; pour cela ils manipulent une carte d'Égypte sur laquelle sont plantées deux épingles symbolisant les bâtons, une à Alexandrie et l'autre à Syène. S'ils maintiennent la carte plane les enfants constatent que les ombres sont identiques, voire nulles dans les deux villes du fait du parallélisme des rayons solaires. Pour obtenir le but recherché ils doivent courber leur carte, ce qui les renvoie au modèle d'une Terre sphérique. Dans les conditions de l'expérience (avec des rayons solaires parallèles, ce qui était admis à l'époque d'Ératosthène et qui est reproduit lors de la manipulation au soleil), l'expérience prouve donc que la surface terrestre n'est pas plane mais courbe, et par extension on admet que la Terre est sphérique.

Après la manipulation, les élèves doivent schématiser l'expérience. On constate au départ des difficultés à représenter des verticales passant par le centre de la Terre : dans les classes où nous avons conduit cette expérimentation, 18 groupes seulement sur 42, soit 43 % des élèves, dessinent correctement les verticales à Syène et Alexandrie. Pour les autres, la référence reste encore celle de l'espace local, les verticales étant parallèles entre elles : cet attribut du concept de Terre s'avère donc particulièrement difficile à construire.

À la suite de cette première schématisation une confrontation des différents schémas et des discussions entre les enfants assorties d'un retour à l'expérience permettent une amélioration de ces résultats : à la fin de la séquence le tracé des verticales est correct pour une grande majorité des élèves. La séquence permet donc de construire la notion de verticale, ce qui est difficile avec une approche classique. La manipulation de la carte d'Égypte au soleil, qui permet de bien matérialiser l'écart angulaire entre les deux épingles lorsqu'on la courbe, contribue vraisemblablement à cette conceptualisation. D'autre part cette approche donne du sens aux activités de classe : la notion de verticale vue à l'échelle de la Terre devient alors opératoire et concourt à la conceptualisation d'une Terre sphérique.

Une autre situation possible pour introduire la sphéricité de la Terre s'appuie sur la découverte, par les grecs, de nouvelles étoiles, lors de leurs voyages vers le sud : elle permet, quant à elle, de construire le concept d'horizon. C'est cette séquence que nous allons présenter maintenant.

2. LA DÉCOUVERTE DE NOUVELLES ÉTOILES

Rappelons le fait historique dont nous nous sommes inspirés. Les pythagoriciens ont été les premiers à imaginer une Terre sphérique, en s'appuyant sur des arguments purement esthétiques et philosophiques, la forme sphérique symbolisant la perfection. Par contre, si Aristote adhère à cette idée, c'est en raison de différents arguments scientifiques qu'il énumère. Retenons celui qui nous a intéressé :

« Quant à sa configuration (de la Terre), elle est nécessairement sphérique... Autre chose. La manière dont les astres nous apparaissent ne prouve pas seulement que la Terre est ronde, mais aussi que son étendue n'est pas bien grande. En effectuant un déplacement minime vers le sud ou vers l'Ourse, nous voyons se modifier le cercle de l'horizon ; par suite les astres d'au-dessus de nous changent considérablement, et ce ne sont pas les mêmes qui brillent au ciel quand on va vers l'Ourse ou quand on va vers le midi. Certains astres visibles en Égypte ou vers le voisinage de Chypre sont invisibles dans les régions septentrionales. Par ailleurs les astres qui,

dans les régions septentrionales, apparaissent en tout temps, connaissent un coucher dans les pays nommés plus haut. Tout cela ne montre pas seulement que la Terre a la forme ronde, mais encore qu'elle a la forme d'une sphère de modeste dimension ; autrement on n'apercevrait pas si vite les effets d'un déplacement si court. » (Aristote cité par Kuhn, 1973, p. 116).

La séquence mise en œuvre débute par une séance de planétarium où on simule l'observation du ciel depuis la Grèce et les modifications constatées lors de voyages vers le sud. Suivent trois séances en classe qui doivent permettre aux élèves d'interpréter le phénomène par la sphéricité de la Terre. Ce travail a été expérimenté dans une classe de CM1 de 28 élèves de bon niveau scolaire, dirigée par un maître-formateur.

2.1. Première séance : observation au planétarium

Elle se déroule dans un mini-planétarium qui accueille une demi-classe. Les élèves sont invités à imaginer qu'ils sont des grecs vivant au quatrième siècle avant J.C. L'animateur leur explique qu'à cette époque les grecs pensaient que la Terre était un disque plat flottant sur l'eau, les étoiles étant piquées sur un dôme sphérique entourant la Terre (la voûte céleste, représentée par l'écran sphérique du planétarium). L'observation est menée en trois temps, ce qui apparaît bien dans le compte rendu rédigé collectivement, avec l'aide du maître, à partir des souvenirs des élèves :

« Au début, grâce à un laser rouge, nous avons observé plusieurs constellations, qui sont des groupes d'étoiles formant des figures dans une région du ciel : la Grande Ourse et la Petite Ourse (elles ont la forme de casseroles), Cassiopée (forme de W), le Cygne, l'Aigle et la Lyre (qui forment le triangle de l'été), la Couronne, le Lion et le Scorpion. L'étoile polaire est située sur la queue de la Petite Ourse : cette étoile indique la direction du Nord.

Puis nous avons observé le ciel comme si nous l'observions pendant plusieurs heures. On voit les étoiles tourner autour de l'étoile polaire qui reste immobile : elles montent au-dessus de l'horizon est, descendent vers l'ouest et disparaissent sous l'horizon. Puis elles réapparaissent à l'est : elles mettent 24 heures pour faire un tour complet.

Enfin nous avons imaginé que nous faisons un voyage vers le sud, depuis la Grèce jusqu'en Afrique. En Grèce on ne voit pas les étoiles situées sous la constellation du Scorpion, elles sont cachées derrière l'horizon. En Afrique on voit la constellation plus haut dans le ciel et on découvre les étoiles situées sous la queue du Scorpion. Les grecs, en voyageant vers le

sud, ont donc découvert de nouvelles étoiles dans la direction du sud. Au contraire certaines étoiles visibles au Nord depuis la Grèce ne sont plus visibles en Afrique : c'est le cas de Cassiopée. »

La séance se termine par la question suivante : « *Pourquoi voit-on de nouvelles étoiles dans le ciel lorsqu'on voyage vers le sud ?* »

2.2. Deuxième séance : si la Terre était plate...

Après un rappel des observations de la séance précédente, le maître demande aux élèves comment les grecs pouvaient expliquer l'apparition de nouvelles étoiles lors de voyages vers le sud. Lors du travail individuel, quelques élèves mettent en cause la forme de la Terre, mais aucun ne parvient à expliquer ou à schématiser correctement le phénomène. Puis les élèves sont invités à effectuer cette recherche par groupe, en se basant sur l'image d'une Terre plate, et à rédiger une affiche :

- deux groupes se contentent de rappeler l'observation sans fournir d'explication ;
- un groupe ne fait pas de schéma mais évoque la forme de la Terre : « *comme la Terre est ronde (mais ils ne le savaient pas), alors la bosse de la Terre qui était entre l'Afrique et la Grèce leur cachait les étoiles sous la queue du Scorpion* » ;
- deux groupes respectent la consigne en dessinant la Terre plate et pensent expliquer le phénomène : les étoiles visibles d'un pays sont celles qui sont situées « au-dessus » de ce pays (figure 5) ;

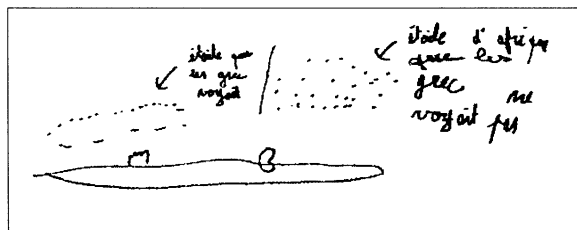


Figure 5 : **Champs visuels limités par une verticale entre Grèce et Afrique**

- un groupe tente de comparer ce que l'on verrait depuis une Terre plate et depuis une Terre courbe, mais ne parvient pas à produire un schéma convaincant puisqu'il ne permet pas d'infirmer le modèle d'une Terre plate (figure 6) ;

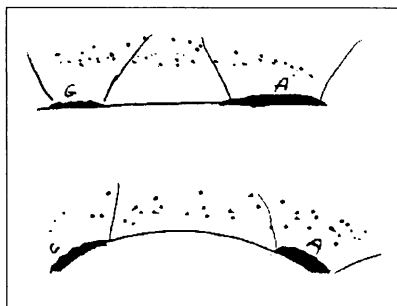


Figure 6 : Champs visuels coniques

– dans un groupe enfin, certains pensent que si la Terre était plate on verrait les mêmes étoiles de tous les pays mais ils ne parviennent pas à convaincre leurs camarades et l'idée n'aboutit pas.

Lors de la mise en commun le maître laisse les enfants s'exprimer sans intervenir. La forme de la Terre est souvent invoquée, parfois à bon escient, malgré une formulation maladroite (« *la bosse entre la Grèce et l'Afrique* »). Toutefois on constate que les élèves ont beaucoup de difficultés à imaginer ce qu'un observateur peut voir depuis un point donné sur la Terre : la notion de champ visuel n'est pas construite. Il est donc impossible pour les enfants de réfuter l'idée d'une Terre plate à partir de l'observation réalisée au planétarium.

Le problème de la distance des étoiles est évoqué (« *on ne voit pas certaines étoiles de Grèce parce qu'elles sont trop loin* »), mais les élèves ne sont pas convaincus par cet argument. La séance se termine sans qu'une conclusion claire ne soit tirée.

2.3. Troisième séance : si la Terre est ronde...

Le maître fait rappeler les propositions de la séance précédente, mais aucune d'entre elles ne remporte l'adhésion des élèves.

Lorsque le maître évoque l'hypothèse relative à la distance des étoiles, un élève affirme : « *j'ai dit ça parce que c'était la seule explication que j'ai trouvée mais c'est pas possible* ». Les enfants prennent conscience que, si cette hypothèse est la bonne, lors d'un voyage d'Afrique en Grèce les étoiles situées vers l'horizon sud disparaîtraient progressivement du fait de leur éloignement, en restant dans la même direction ; par contre elles ne disparaîtraient pas soudainement derrière l'horizon. De plus ils affirment que les étoiles sont tellement éloignées qu'un petit déplacement sur la Terre ne peut expliquer leur disparition.

Le problème n'étant pas résolu, le maître demande aux élèves d'essayer d'expliquer l'apparition de nouvelles étoiles avec le modèle d'une Terre ronde. La recherche se fait individuellement sur un transparent. Les dessins les plus significatifs sont sélectionnés par le maître et projetés en vue d'une analyse collective :

- sur son schéma (figure 7), S a entouré la Terre de flèches : elle explique oralement l'apparition de nouvelles étoiles « *de l'est à l'ouest et du nord au sud* » par la rotation de la Terre sur elle-même. La discussion permet de rappeler les observations faites au planétarium. Des étoiles apparaissent à l'est toute la nuit, mais ceci est dû à la rotation de la Terre sur elle-même d'ouest en est : S simule avec le globe terrestre le mouvement de la Terre. Les élèves comprennent que ce mouvement ne peut expliquer l'apparition d'étoiles vers le sud, apparition qui est d'ailleurs liée à des voyages vers le sud et non à l'écoulement du temps ;

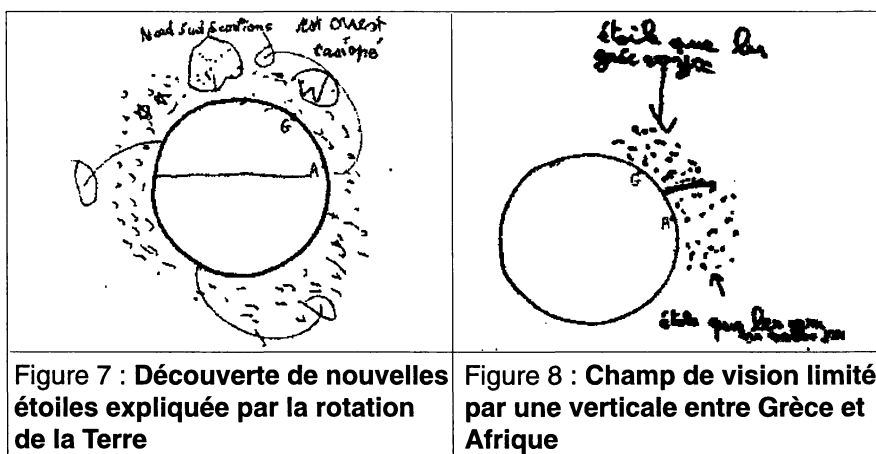
- C sépare l'espace par une verticale située entre la Grèce et l'Afrique (figure 8) ;

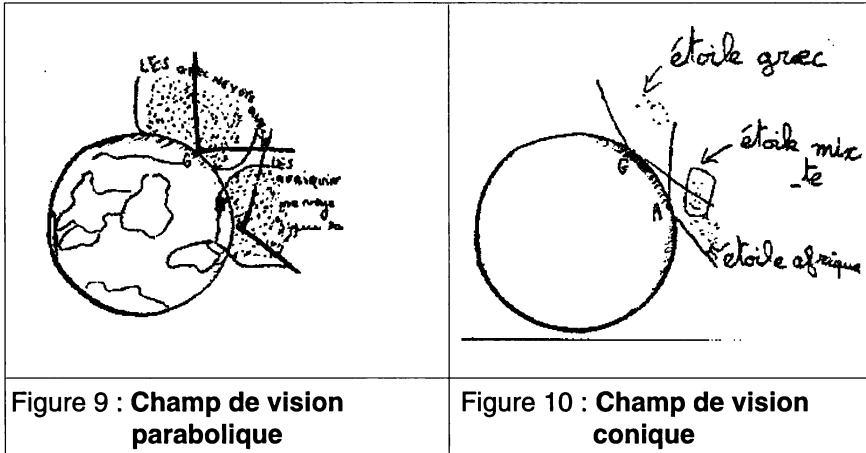
- A dessine deux « paraboles » représentant les champs de vision des grecs et des africains (figure 9) ;

- pour X et beaucoup d'autres élèves les champs de vision sont coniques (figure 10) mais il précise : « *en fait il descend un peu plus* » ;

- K intervient en disant que « *ce serait plutôt comme ça, en trait* » et il vient dessiner une tangente à la sphère ; au maître il explique que « *ce qui gêne pour voir les étoiles c'est l'horizon* » ;

- H a réalisé un dessin confus mais qu'il explique correctement : « *les grecs ils peuvent pas voir en bas, ils voient en haut, à droite et à gauche, pas en bas* », il montre en particulier des étoiles situées en dessous de l'horizon grec, correctement représenté, mais visibles depuis l'Afrique.





Le maître conclut sur la nécessité de savoir ce que peut réellement voir un observateur placé sur la Terre ; il indique que la prochaine séance sera consacrée à une expérience qui permettra de répondre à cette question.

2.4. **Quatrième séance : détermination expérimentale du champ visuel d'un observateur terrestre**

Dans la cour sont installées deux « maquettes » en carton de la Terre : les cartons représentant la surface terrestre sont disposés verticalement à hauteur des enfants. Pour le modèle de Terre plate ces cartons sont plans, alors que pour modéliser une Terre sphérique, ils sont disposés en arc de cercle. Deux fenêtres sont ménagées dans les cartons, symbolisant l'une la Grèce et l'autre l'Afrique. Certains élèves jouent le rôle des voyageurs et observent l'espace à travers ces deux fenêtres. D'autres représentent les étoiles et déposent à leurs pieds des plots de couleurs différentes selon qu'ils sont visibles ou non par les observateurs.

Si la Terre est plate les élèves constatent aisément que les mêmes étoiles sont visibles depuis la Grèce et l'Afrique. Si elle est courbe, la limite du champ visuel matérialisée par les plots apparaît nettement comme une ligne droite tangente à la Terre ; les enfants constatent visuellement que certaines étoiles sont visibles en Grèce et invisibles en Afrique, et réciproquement (figure 11).

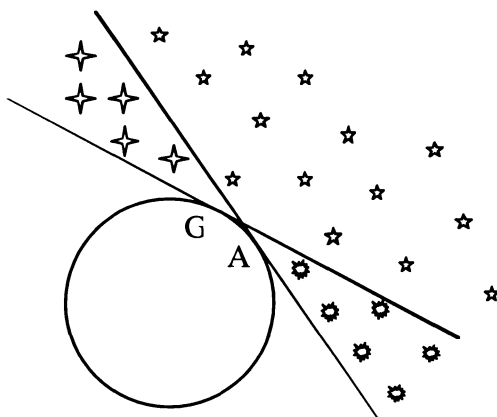


Figure 11 : Champs visuels grecs et africains

De retour en classe le maître présente à nouveau aux élèves les quatre hypothèses faites préalablement concernant le champ visuel des observateurs grecs et africains. Pour chacun d'entre eux, il demande aux élèves ce qu'ils avaient dessiné lors de la séance précédente et ce qu'ils considèrent comme le bon modèle maintenant. Dans le tableau suivant (tableau 1) nous avons reporté les propositions réelles des élèves lors de la troisième séance (colonne 1), et leurs réponses, pour ceux qui se sont exprimés, lors du sondage oral de cette quatrième séance (colonnes 2 et 3).

	Dessin de la 3 ^{ème} séance (1)	Ce que j'avais dessiné (2)	Ce que je pense maintenant (3)
Type 1 (limite verticale)	6	4	0
Type 2 (champ visuel parabolique)	1	1	2
Type 3 (champ visuel conique)	9	12	0
Type 4 (champ visuel correct)	1	0	18
Autre solution	9 (1 rotation 2 distance, 6 descriptifs)	5	0
Total	26	22	20

Tableau 1 : Évolution des conceptions des élèves

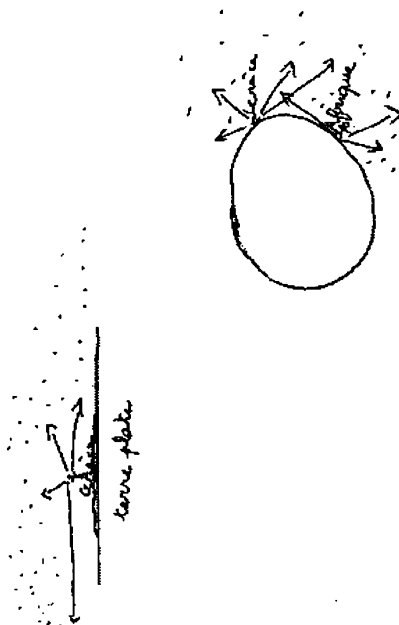

On remarque (colonnes 1 et 2) que les élèves ont une assez bonne conscience de l'hypothèse qu'ils avaient émise et sont donc capables de prendre du recul par rapport à leur mode de pensée. La grande majorité d'entre eux (colonne 3) a été convaincue par la manipulation réalisée dans la cour : la notion d'horizon semble acquise.

Un dernier tracé réalisé par deux élèves devant la classe permet de dégager la conclusion : « *Si la Terre était plate on verrait les mêmes étoiles de Grèce et d'Afrique ; comme ce n'est pas le cas, la Terre est forcément courbe* ».

2.5. Évaluation

Ce travail ayant été réalisé en toute fin d'année scolaire, une évaluation est proposée au début de l'année suivante. Pratiquement tous les élèves disent avoir été très intéressés par ce travail : l'approche historique, loin de les rebuter, a constitué un élément de motivation (Fillon, 1991). Quatre-vingt pour cent d'entre eux expliquent correctement que la découverte de nouvelles étoiles a permis aux grecs de passer du modèle d'une Terre plate à celui d'une Terre sphérique. Avec une question ouverte (« explique cela avec un ou deux schémas »), on obtient environ un tiers de bonnes réponses :

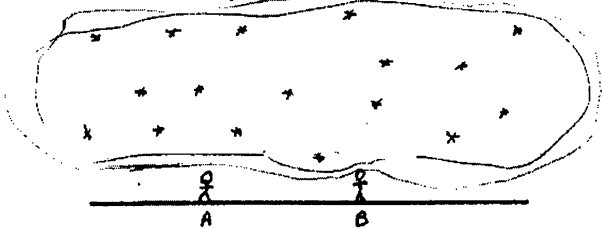
- 15,5 % des élèves produisent une réponse correcte et complète : ils réalisent deux schémas, celui d'une Terre plate montrant que grecs et africains observeraient les mêmes étoiles, celui d'une Terre sphérique justifiant l'apparition de nouvelles étoiles depuis l'Afrique (figure 12) ;
- 15,5 % expliquent correctement le phénomène avec une Terre sphérique, mais sans réfuter le modèle de Terre plate (figure 13).

<p>Nom : <u>Alger</u></p> <p>Comment les grecs imaginaient-ils la forme de la Terre ? <u>Ils imaginaient la terre plate.</u></p> <p>Qu'ont-ils découvert en voyageant vers le sud en observant le ciel ? <u>Qu'on ne voyait plus les mêmes étoiles.</u></p> <p>Qu'est-ce que cela prouve ? <u>Que la terre est ronde.</u></p> <p>Explique cela avec un ou deux schémas :</p> 	<p>Nom : <u>Alain</u></p> <p>Comment les grecs imaginaient-ils la forme de la Terre ? <u>Ils l'imaginaient plate.</u></p> <p>Qu'ont-ils découvert en voyageant vers le sud en observant le ciel ? <u>Ils ont découvert la constellation étoile.</u></p> <p>Qu'est-ce que cela prouve ? <u>Que la terre est ronde.</u></p> <p>Explique cela avec un ou deux schémas :</p> 
<p>Figure 12 : Réponse complète</p>	<p>Figure 13 : Réponse incomplète</p>

Un questionnement plus guidé est ensuite proposé aux élèves. Ils disposent de deux schémas où sont représentées sur l'un une Terre plate et sur l'autre une Terre sphérique, toutes deux entourées d'étoiles. Les élèves doivent répondre à la consigne suivante : « colorie en rouge les étoiles visibles depuis la Grèce et en bleu les étoiles visibles depuis l'Afrique si la Terre est plate, si elle est ronde et donne ta conclusion ». Un peu plus de la moitié des élèves fait deux schémas corrects en expliquant que, dans le premier cas, on verrait les mêmes étoiles de Grèce et d'Afrique, alors que dans le second cas les africains voient des étoiles différentes des grecs, et ils concluent correctement (figure 14).

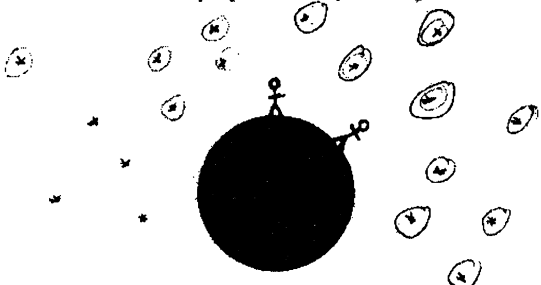
Nom : Yannick

Entoure en rouge les étoiles que peut voir le personnage A
Entoure en bleu les étoiles que peut voir le personnage B



Que remarques-tu ?
Ils voyent pas mêmes étoiles

Entoure en rouge les étoiles que peut voir le personnage A
Entoure en bleu les étoiles que peut voir le personnage B



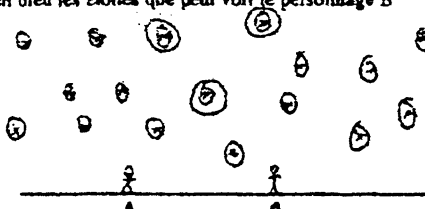
Que remarques-tu ?
que les étoiles sont différente

Conclusion : les grecs ont découvert de nouvelles étoiles en voyageant vers le sud. Je peux donc dire :
que la terre est belle bien ronde

Figure 14 : Un exemple de réponse correcte

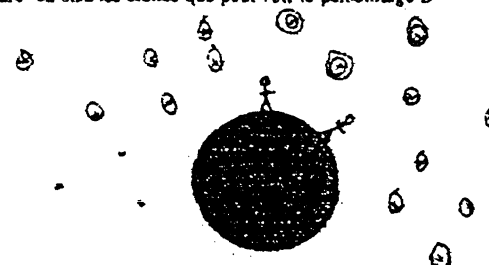
On constate par contre que la notion de champ visuel reste encore difficile pour presque la moitié des élèves, deux modèles restant très prégnants : celui d'un champ visuel conique (figure 15) et celui où une limite verticale sépare les deux champs visuels (figure 16).

Nom : FÉLIX
 Entoure en rouge les étoiles que peut voir le personnage A
 Entoure en bleu les étoiles que peut voir le personnage B



Que remarques-tu ?

Entoure en rouge les étoiles que peut voir le personnage A
 Entoure en bleu les étoiles que peut voir le personnage B



Que remarques-tu ?

que il ne peuvent pas voir toutes les étoiles.

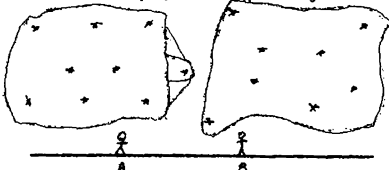
Conclusion : les grecs ont découvert de nouvelles étoiles en voyageant vers le sud. Je peux donc dire :

que les grecs commencent plus d'étoiles

Figure 15 : Champ de vision conique

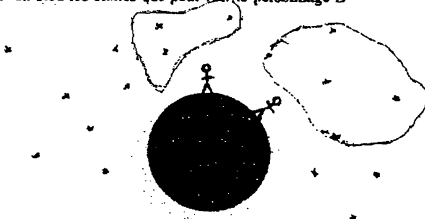
Nom : Adrien

Entoure en rouge les étoiles que peut voir le personnage A
 Entoure en bleu les étoiles que peut voir le personnage B



Que remarques-tu ?
~~que la terre est ronde~~

Entoure en rouge les étoiles que peut voir le personnage A
 Entoure en bleu les étoiles que peut voir le personnage B



Que remarques-tu ?
 que le personnage A voit moins d'étoiles

Conclusion : les grecs ont découvert de nouvelles étoiles en voyageant vers le sud. Je peux donc dire :
 la terre est ronde

Figure 16 : Champ de vision limité par une verticale entre Grèce et Afrique

Ces résultats (un peu plus de 50 % de réussite) peuvent paraître modestes, mais rappelons que la séquence s'est déroulée très tard en fin d'année scolaire et l'évaluation après deux mois de vacances. D'autre part ce même test avait été réalisé précédemment (Merle, 1999) dans des classes de CM1 témoin, avant tout apprentissage en astronomie. Il s'avère que 13 % seulement des élèves étaient capables de répondre correctement avant enseignement. La situation que nous avons proposée a donc été bénéfique sur le plan des apprentissages. Toutefois ces résultats soulignent la difficulté de l'appropriation du concept d'horizon par de jeunes élèves.

3. CONCLUSION

Analysons l'approche mise en œuvre, tout d'abord **du point de vue historique**. L'intérêt de cette séquence est qu'elle replace les enfants dans la situation des grecs : si les grecs de l'époque d'Aristote avaient pressenti la forme sphérique de la Terre, les enfants du XXI^e siècle ne peuvent l'ignorer. Mais les uns ont dû abandonner une vision purement philosophique alors que les autres doivent préciser une vision plutôt approximative pour parvenir à une construction argumentée et étayée de la sphéricité de la Terre. Ce cheminement se fait dans les deux cas à partir de l'observation du même phénomène : la découverte de nouvelles étoiles lors de voyages, voyages réels ou simulés grâce au planétarium. Cette proximité des contextes nous paraît particulièrement intéressante : un des dangers souvent soulignés de l'utilisation de l'histoire des sciences dans l'enseignement est le piège du jugement rétrospectif. Certes les enfants ont tendance à sourire lorsqu'on leur présente l'image d'une Terre plate telle que la concevaient les anciens grecs, mais il leur est difficile de dépasser la simple affirmation (« *la Terre est ronde* ») et d'argumenter en faveur de la sphéricité de la Terre. Cela les rend plus modestes et plus tolérants dans leurs appréciations.

Nous pouvons également analyser cette procédure **sur le plan épistémologique**. Lors de la séance de planétarium, l'attention des élèves est attirée sur un phénomène précis, la découverte de nouvelles étoiles en Afrique, et la démarche mise en œuvre focalise leur recherche sur ce phénomène. Le contexte grec, dans lequel la « science » n'avait pas encore acquis son statut face aux mythes, était sans doute beaucoup moins propice à un raisonnement logique tel que celui suscité chez les enfants. Le recours à l'observation sur un modèle, qui a été utilisé dans la cour grâce aux maquettes en carton de la Terre, n'était guère envisageable à l'époque. Toutefois le cheminement intellectuel des grecs fut vraisemblablement très proche de celui des élèves, et sa difficulté explique qu'il ne fut pas le fait d'un seul homme mais l'aboutissement de la réflexion de toute une époque, confrontée par ailleurs à d'autres indices permettant de penser la sphéricité de la Terre.

La situation didactique choisie, en isolant un « fait », facilite la réflexion des élèves, ce qui est indispensable vu leur jeune âge. Mais elle les place dans une situation où deux modèles sont mis en relation avec ce fait. Lorsqu'ils confrontent chacun de ces deux modèles à l'observation, il s'avère que les élèves ne possèdent pas une connaissance indispensable pour trancher : la notion de champ visuel. Ils sont donc conduits à émettre des hypothèses sur les champs visuels, à les discuter, à les tester enfin lors de la modélisation réalisée dans la cour. Cette démarche de résolution

de problèmes est bien sûr adaptée à l'âge et aux compétences des élèves, mais elle conserve un esprit conforme à l'épistémologie contemporaine.

Enfin **sur le plan didactique** rappelons les acquis qui résultent de cette situation : outre l'idée même de sphéricité, elle aide aussi à construire la notion d'horizon.

Cette séquence, qui utilise une démarche identique à celle que nous avons présentée précédemment (Merle, 1995) vise des objectifs essentiels : il s'agit tout d'abord, pour nous, de proposer aux élèves des situations-problèmes riches et motivantes. Dans chacune d'elles l'investissement des élèves est important et les résultats très satisfaisants sur le plan des acquisitions, tant notionnelles que méthodologiques.

De plus ces séquences confrontent les élèves à une démarche de modélisation essentielle en sciences et, malgré cela, peu pratiquée à l'école.

Au-delà de cet aspect, ces situations permettent de sensibiliser de très jeunes élèves au fait que la science est le fruit de recherches qui se sont déroulées depuis des siècles. Friands de connaissances encyclopédiques, les élèves se posent peu de questions sur l'élaboration de ces connaissances. Or « *découvrir l'astronomie c'est se familiariser avec les efforts, les succès, les erreurs des démarches par lesquelles l'homme a cherché et cherche encore à percer les apparences* » (Roy, 1982). Notre objectif est de donner aux élèves le goût du questionnement, l'envie de chercher des réponses. Une approche inspirée de l'histoire des sciences va dans ce sens : elle permet de montrer comment le savoir se construit peu à peu, souvent par réfutation de croyances antérieures. L'idée de Terre plate ne sera plus considérée avec moquerie quand les élèves auront éprouvé des difficultés à élaborer des arguments en faveur d'une Terre sphérique. Au-delà d'une admiration naïve envers quelques illustres savants, c'est une admiration justifiée pour les efforts et les recherches des scientifiques que nous souhaitons développer par ce biais. Un des objectifs visés par cette activité est ainsi de promouvoir l'image de la science comme une aventure humaine.

BIBLIOGRAPHIE

- BAXTER J. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, vol. 11, special issue, pp. 502-513.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1995). *Programmes pour l'école primaire. Bulletin officiel, n° 5*. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.
- FILLON P. (1991). Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves. *Aster*, n° 12, pp. 91-120.

- FILLON P. (1995). Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves. In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds), *Actes des XVIIes Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, pp. 113-120.
- KHUN T. S. (1973). *La révolution copernicienne*. Paris, Fayard.
- MERLE H. (1995). Sensibilisation d'enfants de 9 à 11 ans à l'histoire des sciences : l'expérience d'Eratosthène. In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds), *Actes des XVIIes Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, pp. 475-480.
- MERLE H. (1999). *Apprentissage des mouvements de la Terre à l'école élémentaire. D'une vision géocentrique au modèle héliocentrique*. Thèse de doctorat, Université Montpellier II.
- NUSSBAUM J. (1979). Children's conceptions of the Earth as a cosmic body : a cross age study. *Science Education*, vol. 63, n° 1, pp. 83-93.
- ROY J.R. (1982). *L'astronomie par son histoire*. Québec, Presse de l'Université de Québec Masson.
- VOSNIADOU S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, vol. 4, pp. 45-69.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans la classe de Dominique Brousal, maître-formateur à l'école Condorcet à Montpellier, que je remercie pour sa participation et son implication.

Cet article a été reçu le 25/09/01 et accepté le 30/10/01.

HUGON M.-A. (2000). *Construire ses apprentissages au lycée*. Paris, INRP, 369 p.

Quatre chercheurs associés au CRESAS-INRP et des professeurs de cinq lycées se sont associés pour rendre compte d'expériences menées dans ces établissements et tenter d'en tirer les enseignements. Le livre se présente comme la succession de cinq monographies (deuxième partie) précédées d'un chapitre qui place l'ensemble des expériences sous la référence générale à l'interactionnisme et au constructivisme (première partie). La troisième partie, certainement la plus riche d'enseignements pour un lecteur soucieux d'évaluer la portée générale de ces expériences, propose trois lectures thématiques : « Rencontres entre disciplines » (Claude Cabot, Paris XI-Orsay), « Pédagogie de l'image, pédagogie du concept » (Christiane Montandon, Paris XII-Créteil), et « Pratiquer la méta-cognition au lycée » (Arlette Cohen, lycée de Corbeil).

Dans l'introduction, Marie-Anne Hugon (maître de conférences en sciences de l'éducation à Paris X-Nanterre) justifie l'entreprise par la nécessité de « faire progresser tous les élèves », en particulier « les nouveaux lycéens », et « de donner sens aux savoirs enseignés dans les lycées et favoriser une relation dynamique et constructive aux apprentissages ». On aurait certainement trouvé un intérêt à une comparaison plus poussée entre les établissements expérimentaux, dans la mesure où elle aurait peut-être permis d'approfondir le lien entre la culture d'un établissement et sa capacité à se mobiliser pour ajuster les pratiques d'enseignement aux besoins des élèves. Les auteurs auraient ainsi favorisé le transfert à d'autres équipes et à d'autres lycées. Les conditions de possibilité

de l'émergence de pratiques pédagogiques innovantes sont riches d'enseignement aussi bien pour les enseignants que pour les chefs d'établissement et les formateurs.

La référence à l'interactionnisme et au constructivisme est d'abord celle de l'équipe de chercheurs. Si les équipes se sont reconnues dans cette référence, il semble que ce soit de manière variable. C'est ce qui explique que deux politiques d'établissement soient identifiées par Marie-Anne Hugon : pour l'une, l'expérimentation correspond à un moment clairement identifié et le transfert aux autres pratiques de classe est repoussé à un moment ultérieur, quand les professeurs estimeront que leur maîtrise sera suffisante ; pour l'autre, l'ensemble des pratiques d'enseignement est revu à la lumière des références interactionnistes. La politique « des petits pas » défendue par le CRESAS y trouve, selon l'auteur, sa vérification.

Dans la première partie, après une présentation succincte de la pédagogie interactionniste, Marie-Anne Hugon analyse les aspects les plus caractéristiques des pratiques de classe qui lui sont liées : gestion des groupes (composition, organisation interne, alternance des différentes formes de travail, individualisation, grand groupe, petit groupe), les conséquences sur le travail des enseignants et présente aussi les activités des élèves. Le lecteur trouve dans cette partie un condensé clair des références nécessaires pour comprendre le sens des expérimentations.

Chaque monographie présente brièvement l'établissement, l'équipe et son fonctionnement, les intentions, le projet, ses références théoriques. L'essentiel de l'effort des auteurs porte sur la restitution de l'expérience, son analyse et les enseignements tirés. Chaque monographie peut se lire indépendamment,

les établissements ne semblant pas avoir entretenu de relations entre eux. Au-delà de l'information sur les expériences, une lecture attentive permet de repérer quelques enseignements fondamentaux, qui, s'ils ne sont pas vraiment inattendus, méritent d'être rappelés.

L'évaluation immédiate des effets des pratiques pédagogiques est des plus difficiles : comme en témoignent plusieurs équipes, ce qui est vécu comme un demi-échec peut rester gravé dans les mémoires et marquer durablement les élèves, un élève *a priori* rétif à un travail peut estimer, avec le recul, y avoir fait une découverte décisive qui a changé son rapport au savoir. En dehors d'une expérimentation, de quels moyens un établissement peut-il se doter pour évaluer les effets de son travail ? l'établissement est-il une organisation apprenante ?

La collaboration entre professeurs de disciplines différentes ne pose pas véritablement de problèmes aux élèves pour qui elle est source de découvertes décisives (cf. le travail sur la notion de commentaire en mathématiques et en histoire). Elle n'est pas contre-nature car toutes les questions traitées de cette manière ont une véritable consistance, les méthodes mobilisées une véritable efficacité. La difficulté est plutôt du côté des enseignants et de leur représentation identitaire : ils ne savent pas bien comment s'y prendre et redoutent de ne pouvoir répondre.

Dès lors que les élèves ont un vrai problème à résoudre ensemble, il n'existe plus véritablement de difficulté d'investissement. Encore faut-il être attentif aux conditions dans lesquelles le problème est posé. Lorsque les élèves ne maîtrisent pas individuellement les solutions, le groupe est systématiquement plus productif que la somme des individus.

Enfin, on remarquera que si le transfert est préparé et voulu par les professeurs alors, ce qui est appris dans les dispositifs interactifs est réinvesti aisément dans les autres enseignements.

Les trois lectures thématiques sont d'un intérêt majeur. On y trouve en effet, présenté de façon approfondie et très précise, l'usage des concepts pour rendre compte, analyser et interpréter les données de l'observation.

La particularité de chaque expérimentation se voit ainsi conférer une portée générale.

Ce livre présente une véritable rencontre entre les savoirs et les pratiques des chercheurs et les savoirs des professionnels à propos des pratiques d'enseignement. On regrette d'autant plus que les annexes ne présentent pas des fiches récapitulatives des séquences et que la maquette de l'ouvrage soit peu attractive et peu maniable. On peut également craindre que la barrière du langage pédagogique et l'abondance des références théoriques ne constituent des obstacles à la lecture par les professeurs de lycée, encore souvent hostiles au « jargon » pédagogique. Un lexique des principaux concepts aurait pu faciliter l'accès au texte pour les enseignants curieux, mais non formés aux sciences de l'éducation. Au total, un livre intéressant et utile, qui témoigne d'un souci de mettre en forme l'expérience professionnelle.

F. Clerc

HULIN N. (Éd.) (2000). *Physique & « humanités scientifiques » autour de la réforme de l'enseignement de 1902. Études et documents*. Lille, Presses Universitaires du Septentrion, 339 p.

L'ouvrage édité par Nicole Hulin introduit le lecteur aux circonstances et aux enjeux de la réforme de l'enseignement de 1902. Celle-ci est présentée comme une étape majeure de l'histoire de l'enseignement scientifique dans la mesure où s'y trouvent explicitement associées l'idée de formation de l'homme et celle de sciences expérimentales, dont l'enseignement est pour la première fois appuyé de manipulations pour les élèves. La visée est celle d'une contribution à l'histoire de l'enseignement, champ de recherche extrêmement peu développé actuellement.

Ce texte s'organise en une série d'études qui en occupent la moitié, et un dossier de documents livrés bruts au lecteur, lequel est invité à en prendre connaissance muni de l'éclairage que lui fournit la première partie. Ce dossier documentaire concerne la physique, et comprend des textes officiels, divers documents des toutes premières

années du siècle - article, préface de livre, instructions pour l'agrégation, discours - et enfin quatre conférences pédagogiques prononcées en 1904 complétées par quelques extraits de conférences portant sur les mathématiques.

Cette structure conduit naturellement le lecteur à prendre connaissance des études avant d'aborder celle des textes originaux.

L'avant-propos de Nicole Hulin donne le ton, d'une part citant Louis Liard, vice-recteur de l'Académie de Paris, et son appel pour la contribution des études scientifiques à la formation de l'homme, d'autre part en soulignant le plaidoyer du même auteur pour une « étude positive des sciences naturelles » et pour « la notion de vérité positive, c'est-à-dire du fait expérimentalement constaté », dans la droite ligne d'une fin de XIX^{ème} siècle fortement marquée par la « philosophie positive » d'Auguste Comte. Divers points de vue, d'Henri Bouasse notamment, laissent pourtant penser qu'un primat caricatural de l'induction n'est pas, même à l'époque, une règle incontestée, même si son symétrique en faveur d'une présentation purement déductive semble faire l'objet, lui, d'une critique quasi unanime.

Nicole Hulin précise ensuite (15 p.) l'histoire des plans d'études depuis la « bifurcation des études » de 1852 (distinguant, à partir de la troisième, les filières littéraire et scientifique) et reprend, en les détaillant, les idées déjà introduites. On sent à nouveau l'existence de contrepoids à la caricature du tout-induction, à travers l'importance du thème de la conservation de l'énergie, défendu en tant qu'« une des grandes coordinations de la science... » par Lucien Poincaré, Inspecteur général, et dont Paul Appell, professeur à l'université de Paris, recommandait, dès 1901, la présentation comme principe dès le début du cours. Autre prise de distance, celle qui porte sur les descriptions d'appareils et présentations d'expériences associées, quand ce qui domine est un foisonnement de curiosités dont les noms établissent un annuaire mondain de la science et semblent constituer un phénomène par personne plutôt qu'un fondement expérimental pour une science unifiée. La présentation de trois sujets – chute des corps, pendule et liquéfaction des gaz – dans deux manuels publiés respecti-

vement en 1887 et 1922 illustre bien le propos.

Bénédicte Bilodeau et Nicole Hulin reprennent à nouveau les thèmes majeurs de l'avant-propos (30 p.) – humanités scientifiques, *via* une introduction à la valeur du fait expérimentalement constaté – ceci appuyé notamment sur des citations de Marcelin Berthelot ou A. Ribot. Sont plus spécifiquement développés le rapport de l'élève à l'expérience et la formation des professeurs. Sur le premier de ces points, on peut relever, autant que des appels répétés à l'observation, un accent mis, au-delà de la simple accumulation de faits, sur la « notion plus générale de loi naturelle » selon Louis Liard, ou encore, sous la plume d'Henri Bouasse, professeur à l'université de Toulouse, « l'idée de loi, c'est-à-dire de la dépendance des phénomènes les uns aux autres », tandis que Henry Le Chatelier affirme la valeur de « la croyance absolue à la nécessité des lois qui régissent les phénomènes naturels ». La formation des professeurs, thème probablement assez récent (mais ce n'est pas dit), fait son apparition de manière fort heureuse, Durkheim prévient : « un programme ne vaut que par la manière dont il est appliqué... ». Bilans, critiques et aménagements, détaillés ensuite, prennent en compte les obstacles habituels (programmes trop lourds, nature des épreuves au baccalauréat, manque de matériel et de personnel).

Christine Blondel développe ensuite un thème particulier : l'enseignement de l'électricité (26 p.). Elle détaille les différences que l'on peut observer entre manuels d'avant et après la réforme : apparition, dans ce dernier cas, des schémas, de lois formulées mathématiquement, réexamen du contenu avec, à la faveur de la liberté pédagogique pour l'ordre d'introduction des notions, amorce d'un débat qui n'est pas près de se clore : entrée par l'électrostatique ou l'électrocinétique, place privilégiée faite ou non à la notion d'énergie.

Danielle Fauque (17 p.) aborde ensuite le statut et l'évaluation des exercices pratiques, grande nouveauté de la réforme dont l'importance est affirmée aussi bien par les textes officiels que proclamée par L. Liard ou L. Poincaré, entre autres. On peut lire comment l'Union des Physiciens s'est créée

peu de temps après la réforme pour répondre solidairement aux exigences d'adaptation considérables du moment. Il est savoureux d'apprendre qu'un grand nom de la physique rapporte, en forme d'exemple à suivre, qu'aux États-Unis les élèves découvrent par eux-mêmes des faits et des lois qui ne leur sont pas indiqués préalablement, et de lire le débat qui s'ensuit. C'est d'ailleurs sur la permanence, tout au long du vingtième siècle, des préoccupations concernant l'expérimental et son évaluation que débouche ce chapitre.

Le texte suivant (35 p.) retrace, sous la plume de Robert Locqueneux, le fascinant tableau du développement des théories physiques autour de 1900. La « fragilité des théories physiques » en est un thème majeur, appuyé tout spécialement sur l'exemple des théories de la lumière, celles de l'éther discret ou continu, au cours des siècles précédents. La position de l'auteur est qu'il est, dès lors, compréhensible que des personnalités influentes comme L. Poincaré aient souhaité dégager les faits des théories, puisque ceux-là demeurent tandis que celles-ci ont pu s'écrouler entre temps. Suit un développement sur les théories, mécanistes ou non, de la matière et du rayonnement qu'il est vain de vouloir résumer ici. Est ensuite détaillée la position de Duhem, haute figure de l'époque, quant à la manière de mettre la nature - et les « qualités premières » des corps - en grandeurs mesurables, en théories. L'auteur souligne ce qu'il décrit comme des positions « encore très proches de l'inductivisme », ensuite dépassées, Duhem rejoignant celles d'un E. Mach. L'établissement de la « preuve de la réalité moléculaire », de rebondissements en coups de théâtre, laisse finalement le lecteur avec une courte conclusion, citant l'avertissement des Rapports sur le Congrès international de physique de 1900, admettant qu'on puisse autant penser que l'on s'acheminait alors vers une physique unifiée que vers une effrayante complexité.

Enfin, Michel Blay nous livre son analyse (11 p.) de la conférence de L. Poincaré de 1904. L'originalité des vues de L. Poincaré est soulignée, notamment cet accent mis sur la méthode expérimentale, par opposition au seul intérêt pour les contenus de la science.

Pour « interroger la nature », sous la plume de L. Poincaré, sens critique et esprit d'examen sont présentés comme nécessaires ainsi qu'une « imagination réglée », afin de « manier l'induction scientifique et par conséquent pour construire une hypothèse ». Deux idées, celle de « fait » et celle d'« induction » constituent la trame de l'analyse critique qui vient ensuite. Sur la première, l'auteur souligne l'emploi de l'expression « réalité objective » dans un passage où celle-ci est opposée, par la simplicité de l'organisation, aux apparences complexes que nous livrent nos sens dans la perception du monde physique. La simplicité que L. Poincaré appelle de ses vœux en matière d'appareillage et d'activité expérimentale est, pour l'auteur, le signe de la conviction que les faits sont directement lisibles dans la nature, d'autant que, dans un autre passage, L. Poincaré plaide pour une grande économie de formalisation mathématique. Deux exemples historiques viennent ensuite illustrer l'idée qu'un fait expérimental est un fait construit, à partir d'hypothèses et *via* la quantification de grandeurs. La remarque finale est en forme de vœu, celui que l'on puisse, dans l'enseignement, « développer d'abord les théories essentielles des sciences physiques tout en soulignant l'effort spéculatif fondamental qui gît à leur origine en rapport avec l'expérience quotidienne pour ensuite rendre possible, au sens plein du terme, l'idée de contrôle expérimental ». Mais ceci est une autre histoire.

Ce livre est d'une grande richesse, et la seconde partie y contribue beaucoup. C'est en particulier avec un très grand plaisir que j'ai lu la conférence d'Henri Bouasse, dont les vues originales évoquent tout sauf ce que l'on nomme souvent un « inductivisme naïf ». On y voit, au détour de certains passages, des intuitions reformulées quatre vingts ans plus tard sous la rubrique « didactique », par exemple sur l'utilité de préciser « de quelles variables un phénomène ne dépend pas, s'il doit sembler naturel aux enfants de penser qu'il en dépende ». Ces textes originaux donnent également toute la mesure de l'évolution considérable que représente cette réforme. On peut apprécier, en particulier, à quel point il semblait nécessaire d'affirmer l'importance majeure de la notion de loi, et

avec quelle netteté certains l'ont fait. On sent aussi la complexité de ces réactions, dont les auteurs ont permis la perception, tout en mettant une dominante sur la critique de positions prônant l'induction sans nuances.

C'est un grand mérite de ce livre que de nous donner envie d'en savoir plus, et d'analyser cette période sous d'autres angles. Dès lors, on ne saurait lui tenir rigueur d'un certain recouvrement des thèmes traités et des points de vue exprimés, dû à la structure de l'ouvrage. Il faut se réjouir que Nicole Hulin et ses co-auteurs aient eu le courage de se lancer dans cette entreprise innovante et de nous livrer un support de réflexion d'une telle densité. Souhaitons que de nombreux lecteurs en profitent et que l'histoire de l'enseignement scientifique se développe sur ces traces.

L. Viennot

JONNAERT P. (2000). *De l'intention au projet*. Bruxelles-Paris, De Boeck, Université-Pratiques pédagogiques, 139 p.

Les mutations des pratiques de formation suscitent des préoccupations croissantes auprès de nombreux intervenants du secteur de l'Éducation. En tant que formule pédagogique, l'approche par projet intéresse des professionnels de l'éducation et de la formation, en milieu scolaire et en milieu socioprofessionnel à des degrés divers. Le livre du professeur Joannert s'inscrit comme une solide contribution dans la structuration et l'appropriation du concept de projet.

À sa base, ce livre qui en est à sa troisième édition, a bénéficié des contributions des étudiants et étudiantes de la faculté de psychologie et des sciences de l'éducation de l'université catholique de Louvain. Le professeur Jonnaert y a dispensé un enseignement de 2^e cycle. Ses collègues ont enrichi son ouvrage de quelques observations. Il n'en demeure pas moins que ce texte est écrit par un auteur nourri d'acquis éprouvés. L'intérêt primordial du livre n'est pas seulement de proposer une réflexion théorique sur le projet, c'est aussi de démontrer comment passer d'une intention de formation à un véritable scénario de

formation. C'est ce double registre de préoccupations qui est précisé dès le départ.

Refusant de réduire sa démarche à un ensemble de trucs ou de recettes, se démarquant aussi d'une vision utilitariste et d'une conception simplement cognitiviste du projet, l'auteur invite le lecteur à s'engager dans un processus qui intègre liberté, créativité, autonomie, responsabilité, exploration et analyse critique durant l'apprentissage. Cette optique considère l'individu, auteur du projet, comme un praticien réflexif au centre d'un processus dynamique.

Le livre propose des outils pratiques d'aide à l'analyse et à la réalisation du projet dans une variété de contextes, soit le projet individuel de formation, soit les projets plus globaux de société.

Avant d'étendre la réflexion, il importe de bien cerner le contenu et la logique du livre qui se divise en six chapitres.

Le premier présente la façon d'utiliser le document. Il indique l'opportunité de se pencher sur les objectifs du livre. Le second chapitre donne une définition du concept de projet et en analyse les différentes conceptions. Le troisième chapitre clarifie deux concepts de base. La typologie sommaire distingue le projet visé et le projet programmatique, et en détermine les composantes. Le quatrième chapitre aborde le concept de formation et fait part des caractéristiques d'une action de formation. Ce volet concerne précisément les variables structurelles et les variables fonctionnelles. Le cinquième chapitre décrit les diverses étapes d'analyse, préalable à l'élaboration d'un scénario de projet de formation. Neuf étapes sont ainsi proposées, depuis l'intention ou le désir du projet jusqu'à la rédaction du projet de formation. Le chapitre 6 qui sert de conclusion ramène la discussion autour de l'objectif du projet, tel qu'il se manifeste dans le cadre des activités éducatives. On fait le point et on propose une typologie du projet dans le contexte scolaire.

L'auteur réalise-t-il les objectifs annoncés ? On pourra discuter tel ou tel aspect, le particularisme de la méthode et l'absence de quelques auteurs théoriques, tel Bonniol. On pourra aussi déplorer l'absence des mesures

de précaution pour éviter le narcissisme de l'individu engagé dans le projet. On pourrait aussi reprocher à l'auteur de ne pas souligner suffisamment les conditions matérielles à améliorer en fonction de l'efficacité du projet. Il y aurait peut-être lieu de nourrir davantage la réflexion à propos des facteurs qui rendent difficiles la motivation et l'engagement dans le projet, par exemple les pratiques culturelles, la diversité des styles d'apprentissage, les résistances face au changement, à l'innovation et à l'expérimentation du projet, l'expérience antérieure de l'individu, ses échecs, etc.

Il n'en demeure pas moins que ce livre constitue une solide contribution à la démarche par projet. Il présente beaucoup de qualités. Il importe de noter l'ordre et la clarté dans l'explication des concepts de base, la valorisation de l'auto formation, un profond respect du lecteur, la prise en compte de son besoin d'attention, de ses doutes, de ses interrogations, de son souci de progression, et de retours réguliers sur la démarche. Le lecteur a un rôle central dans cette démarche de formation qu'il doit s'appropriier dès le départ. Il doit contextualiser son savoir et son savoir-faire. Le texte n'est pas écrit sur le mode prescriptif.

La réflexion sur les concepts de projet et de formation est conduite avec finesse et précision. L'orientation didactique du livre ne sacrifie pas aux avantages de l'outil scientifique. Il faut souligner la cohérence et la rigueur dans la pensée. Chaque thème est accompagné d'une série de références bibliographiques récentes et pertinentes, présentée à la fin du chapitre.

À ce moment où les pédagogies traditionnelles sont remises en question, le livre « *De l'intention au projet* » apporte une démarche novatrice et rafraîchissante marquée par son aspect structuré, pratique et contextualisé. En un mot, on apprend une méthodologie nourrie par une « théorie solidaire de la pratique », selon les termes de l'auteur. Il s'agit d'un ouvrage de référence et de conseil dans le domaine de l'approche par projet. Nul doute qu'il sera d'une grande utilité pour les professionnels de l'éducation, les formateurs, les chercheurs et même pour un large public intéressé aux nouvelles

modalités de l'enseignement et de l'apprentissage à l'aube du XXI^e siècle.

Cet ouvrage rompt avec un certain immobilisme dans le monde de l'éducation. Il stimule la réflexion, fait évoluer la manière d'apprendre.

A. M'Batika

PERALES F. J. (2001). *Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Madrid, Síntesis, *Didáctica de las ciencias experimentales*, 224 p.

L'intention de ce livre de 700 pages, écrit en espagnol, est de présenter un état de l'art en didactique des sciences expérimentales. Tous les auteurs sont espagnols. Ils se réfèrent à la littérature en provenance d'Espagne, mais aussi d'Angleterre, d'Amérique du Nord, d'Israël, et de France dans une moindre mesure. Chaque chapitre est suivi de références commentées. Toutes les bibliographies partielles sont regroupées en fin de livre avec renvoi au chapitre d'origine. La place modeste réservée aux travaux français, se remarque par l'absence d'un certain nombre de concepts didactiques qui ont été créés en France. Au demeurant, le vocabulaire utilisé, dans son ensemble, n'est pratiquement pas spécialisé. On peut penser qu'il s'agit d'un choix délibéré de s'adresser à un large public, même non chercheur. Cela justifie le fait qu'il n'y ait aucun index, ni par thème, ni par auteur.

L'introduction explicite à qui s'adresse le livre. Il vise à répondre à la demande d'enseignants de tous niveaux, (du primaire jusqu'à l'université), qu'ils soient en formation ou déjà en responsabilité. Il s'adresse aussi aux chercheurs (en didactique, en psychopédagogie) surtout en formation, en thèse ou pour participer à des recherches en tant qu'enseignants. Ce public le différencie quelque peu des livres qui sont parus récemment en France. Celui de Joshua et Dupin (1993) fait partie de la collection Premier Cycle des PUF. En réalité il s'adresse aux étudiants de tous les niveaux, y compris doctoral. Au contraire, le livre espagnol est proche du terrain de l'enseignement. Il est très « situé » en Espagne, lié au système éducatif

et tient compte des dernières réformes de l'enseignement des sciences dans le pays.

La structure du livre en favorise l'utilisation. Si l'on regarde en premier lieu celle de chaque chapitre, on trouve en tête un plan très clair, de nombreux schémas et des comparaisons entre outils d'analyse, classifications, etc. En fin de chapitre, avant la bibliographie commentée, sont proposées des activités sous la forme d'application à des cas particuliers, des notions et références présentées dans le chapitre. Le plan du livre manifeste deux soucis centraux : d'une part celui de resituer la didactique dans les différentes sciences humaines qui l'alimentent de plus en plus, d'autre part le souci d'être en prise avec la pratique de l'enseignement et de la formation. Les différents « blocs » de chapitres sont les suivants :

- 1 – La didactique des sciences : caractérisation et fondements
- 2 – Le curriculum de sciences expérimentales
- 3 – La pratique de l'enseignement des sciences
- 4 – Les idées préalables des élèves et la construction des connaissances scolaires à propos des sciences expérimentales
- 5 – La formation des professeurs en didactique des sciences expérimentales
- 6 – Domaines transversaux et didactique des sciences expérimentales.

Le premier bloc montre bien le parti choisi dans l'ensemble du livre. Le premier chapitre trace les grandes lignes de l'émergence de cette discipline scientifique qu'est la didactique. Il met également en garde contre une systématisation, qui voudrait que tout problème d'enseignement des sciences puisse être traité de façon scientifique par la didactique. Après les chapitres traitant de la place de l'épistémologie et de l'histoire dans l'enseignement, on trouve un chapitre sur le constructivisme, sans complaisance, puisqu'il parle de « l'illusion constructiviste » qui décrirait tout processus d'acquisition de connaissances comme « changement conceptuel ». Il y est souligné que le constructivisme peut être pris dans trois sens (épistémologique, psychologique, pédagogique). On y trouve le rôle qu'il a joué dans la mise en place de la dernière réforme de l'enseignement des sciences, avec l'idée

que la recherche est en pleine évolution. Enfin le cinquième chapitre trace un panorama des types actuels de recherches en didactique, ainsi que des méthodologies utilisées, quantitatives ou qualitatives.

C'est dans le quatrième bloc qu'on trouve le plus d'exposés de recherches, essentiellement sur les idées préalables des élèves, en chapitres séparés pour la physique, la chimie, la biologie et la géologie. Les blocs 2, 3 et 5 sont proches du terrain, qu'ils décrivent de façon intéressante, et parfois en posant les problèmes de façon assez générale pour intéresser le lecteur non espagnol (c'est le cas du chapitre traitant de la place de l'ordinateur dans l'enseignement).

Enfin le dernier bloc (deux chapitres), est original pour un livre de didactique. On y trouve des exemples précis d'enseignement autour de l'environnement, intégrant plusieurs domaines scientifiques, avec une insistance sur les valeurs défendues par un tel enseignement en Espagne.

Au total un livre de valeur, un outil de présentation agréable, où le lecteur non espagnol trouvera un exposé synthétique des questions vives de l'enseignement des sciences, ainsi qu'une discussion approfondie des réponses qui sont apportées dans le contexte espagnol.

M.-G. Séré

PERALES F. J. (2001). *Resolucion de problemas*. Madrid, Sintesis, *Didactica de las ciencias experimentales*, 221 p.

Cet ouvrage de 221 pages est constitué de trois grands chapitres, les deux premiers font un point sur l'état actuel des recherches sur le sujet, le troisième s'adresse plus directement aux professeurs de sciences au niveau secondaire en Espagne et propose, assortie de nombreux exemples, une façon de faire.

Le premier chapitre, appuyé sur une bibliographie importante, définit le domaine d'étude et s'intitule « Que se entienda por resolucion de problemas ? » (que signifie résolution de problèmes?). Il définit ce qu'est un problème, en faisant la différence entre problèmes quotidiens et problèmes

académiques et les conséquences de ces différences sur les processus de résolution.

Le deuxième chapitre intitulé « resolución de problemas » passe en revue différents modèles proposés par les chercheurs du domaine (experts/novices, le programme d'actions et méthodes, le modèle par transmission/réception, le modèle par découverte, le modèle par investigation). Pour chacun des modèles sont étudiés : le rôle dévolu à l'activité de résolution de problèmes et les paramètres ayant une influence sur la réussite de cette activité. Ce chapitre se termine par une contextualisation dans le cadre des programmes actuels du secondaire en Espagne comportant une sévère critique des problèmes couramment utilisés et énonçant des objectifs généraux et des critères d'évaluation de cette activité.

Le troisième chapitre s'intitule « perspectiva aplicada : como mejorar el proceso de resolución de problemas » (application : comment améliorer le processus de résolution de problèmes). Dans un premier paragraphe, l'auteur fait des propositions concrètes d'activités à partir d'une synthèse des travaux analysés au chapitre précédent en définissant des objectifs, des conditions, des stratégies et en reliant résolution de problèmes et créativité. Enfin il s'intéresse aux relations entre évaluation et résolution de problèmes en décrivant les caractéristiques que doivent avoir les problèmes selon qu'ils sont utilisés pour une évaluation initiale ou formative ou sommative ou critériée. Le second paragraphe est entièrement consacré à la résolution des problèmes concernant un contenu donné en étudiant successivement les problèmes de physique, les problèmes de chimie, les problèmes de génétiques et ceux concernant l'environnement. Pour chaque contenu, en s'appuyant sur l'analyse de nombreux exemples, l'auteur envisage les erreurs les difficultés concernant les « concepts essentiels » et fait des suggestions d'enchaînements.

Ce livre se termine sans conclusion.

Cet ouvrage propose de très nombreux exemples de problèmes directement utilisables par les professeurs ; souvent ces problèmes sont analysés selon différentes dimensions. En ce sens il peut être une

source d'inspiration intéressante pour des praticiens. Mais, comme tout au long il procède par longues énumérations (souvent emboîtées) la structure est peu apparente, il est assez difficile à lire et on s'y perd parfois. Du point de vue théorique il rapporte tout un ensemble de points de vue sur la résolution de problèmes, parfois incompatibles entre eux sans que l'analyse mette en évidence ces incompatibilités

A. Dumas-Carré

ROEGIERS X. (2000). *Une pédagogie de l'intégration. Compétences et intégration des acquis dans l'enseignement*. Paris-Bruxelles, De Boeck Université, 304 p.

L'ouvrage se présente en deux parties l'une théorique l'autre se voulant plus pratique. L'auteur part d'une définition générale de l'intégration : « opération par laquelle on rend interdépendants différents éléments qui étaient dissociés au départ en vue de les faire fonctionner d'une manière articulée en fonction d'un but donné » ; il développe les implications pédagogiques sur les apprentissages, les curriculums ou les manuels d'une telle définition appliquée à l'enseignement. Un chapitre central de la première partie précise les concepts fondateurs de l'intégration des acquis. Les termes sont très précisément définis et les distinctions sont clairement faites entre :

- une capacité qui « peut être plus ou moins présente à la naissance », transversale, évolutive, rarement disciplinaire, non évaluable et

- une compétence « ensemble ordonné de capacités qui s'exercent sur des contenus, dans une catégorie donnée de situations pour résoudre des problèmes posés par celle-ci » qui est donc disciplinaire et évaluable.

Les formes que peut prendre l'intégration des acquis est alors précisée. Il s'agit de prendre en compte la dimension des savoirs, celle des capacités et celle des situations.

La deuxième partie relève du comment faire. Comment formuler une compétence, comment mettre en place des situations,

quels outils peuvent être utilisés. Envisager une pédagogie qui installe des compétences et définit des objectifs terminaux d'intégration nécessite de modifier les curriculums et d'adapter les manuels. La question des curriculums est envisagée aux différents niveaux, depuis la situation de classe jusqu'à l'élaboration des programmes. L'auteur ouvre des perspectives sur la mise en place par l'enseignant ou l'équipe pluridisciplinaire de situations variées d'apprentissage. Néanmoins cette seconde partie reste trop générale pour être réellement pratique.

À l'heure où, dans les programmes, apparaissent des grilles de compétences, et que l'on évalue en sciences les capacités expérimentales, il importe que les enseignants soient formés à ces notions et conduits à différencier les termes. En ce sens le livre intéressera les formateurs d'IUFM. Il est souvent fait allusion à la pédagogie de projets et un tel ouvrage peut aider à la mise en place des Travaux Personnels Encadrés. Il me semble difficile d'approche pour un enseignant débutant et à la limite décourageant car la somme d'actions à envisager pour parvenir à la mise en place de diverses situations d'apprentissage peut rebuter, surtout si l'enseignant travaille seul et ne trouve pas une équipe dans son établissement. Mais un enseignant, en poste depuis quelques années, est conduit à se poser un certain nombre de questions et peut trouver quelques réponses.

Ce livre peut interroger les chercheurs en didactique. Observer est, pour l'auteur, une capacité, quelle peut être la signification de cette capacité ? Tout enseignant a pu constater que les élèves ne voient jamais, dans une expérience, tout ce que le professeur y voit, tout didacticien sait que l'on observe avec les connaissances que l'on possède. Certaines répétitions comme « la démarche scientifique » finissent par être gênantes surtout lorsque la démarche en sciences consiste en « observation, recherche, synthèse ». S'il n'y avait qu'une démarche scientifique qui commençait par l'observation, comme les choses seraient simples et l'on pourrait se demander pourquoi les chercheurs ne l'appliquent pas ! La même remarque peut être faite sur « la critique littéraire » ou sur la capacité d'argumenter.

En même temps que les didacticiens, ce livre interrogera certains psychologues. Il postule qu'il existe des capacités transversales, or ceci n'est pas prouvé. Par exemple, tout chercheur qui s'est intéressé à la résolution de problèmes sait que les stratégies de résolution de problèmes sont différentes suivant les tâches que l'on donne à réaliser et que la transversalité reste à démontrer.

M. Goffard

SARREMEJANE P. (2001). *Histoire des didactiques disciplinaires, 1960, 1995*. Paris, L'Harmattan, 480 p.

Le titre de cet ouvrage pourrait laisser croire que l'analyse présentée concerne l'approche historique et comparée des didactiques disciplinaires dans leurs fondements respectifs, dans leurs problématiques et dans leurs enjeux scientifiques. L'intitulé de la thèse dont ce livre est issu « Contribution à l'histoire sémantique des didactiques disciplinaires. 1960-1995 » en révèle le contenu exact. L'histoire présentée est essentiellement celle de dix didactiques (langues, français langue maternelle, français langue étrangère, mathématiques, biologie, physique, éducation physique, philosophie, histoire-géographie et sciences économiques et sociales) avec l'ambition de montrer l'émergence, la construction et le développement de la « didactique » dans ces différents champs scolaires. Il s'agit donc de plusieurs histoires, celles de leurs discours de 1960 à 1995. À partir de l'étude d'articles, l'auteur retrace ces évolutions en souhaitant montrer leurs constructions contre des champs de savoirs concurrentiels. Les tensions, par exemple, entre linguistique et didactique du Français, entre didactique et pédagogie des sciences, entre didactique et psychopédagogie spéciale, révèlent la spécificité des domaines de recherche élaborés par les didacticiens.

Cette histoire de l'adoption du « mot-bannière didactique » est bien évidemment une entreprise ambitieuse quand l'étude embrasse l'histoire immédiate d'une dizaine de disciplines scolaires fortement contrastées et souhaite êtreindre, d'un point de vue extérieur, les mouvements essentiellement internes. La tentative de périodisation, qui

engage la responsabilité de l'historien, ne peut alors qu'être grossière distinguant les phases normales associées à des cycles de vie. Mais ces épisodes ne sont pas indépendants des histoires institutionnelles de ces didactiques et des mouvements externes qui contribuent à leur existence respective. La construction d'une histoire véridique des idées internes aux champs des didactiques peut également difficilement s'épargner de la prise en compte de l'évolution concomitante des idées dans le domaine de la recherche en, sur et pour l'éducation. C'est aussi au sein des sciences de l'éducation que les didactiques, en tant que disciplines de recherche, s'identifient avec des

problématiques spécifiques. L'histoire de l'étiquette « didactique » aurait également bénéficié d'une analyse précise des débats entre ces didactiques - par exemple celui de « transposition didactique » et de « pratiques de références » ou ceux, plus tacites, associés aux définitions nuancées des « didactiques » - afin de saisir ou d'expliquer les évolutions décrites.

Dans cet ouvrage, le lecteur trouvera les repères des filiations de chacune des didactiques disciplinaires abordées et pourra situer dans le temps leurs contributions spécifiques.

J. Lebeaume