

Activités de modélisation des élèves en situation de travaux pratiques traditionnels : introduction expérimentale du concept de puissance

Karine BÉCU-ROBINAULT

UMR GRIC – équipe COAST – CNRS – Université Lyon 2
Université Lumière Lyon 2
Case 113
5 avenue Pierre Mendès-France
69676 Bron cedex 11, France.

Résumé

Cet article concerne la définition et la mise en oeuvre d'une grille d'analyse des activités de modélisation des élèves. Nous avons choisi d'étudier les activités des élèves lors de séances de travaux pratiques de physique conduits en classe. Pour cela, nous avons enregistré, transcrit puis analysé des dialogues d'élèves lors d'une séance de travaux pratiques (TP) visant à introduire le concept de puissance. Les résultats de cette étude montrent que la phase de manipulation (construction du montage et prise de mesures) permet de mettre en oeuvre des activités de modélisation variées en comparaison des phases liées à l'interprétation qui le sont moins. Nous avons aussi observé que l'utilisation des mesures par les élèves n'est pas spontanée mais dépend de la possibilité qui leur est offerte de manipuler des éléments matériels de l'expérience.

Mots clés : *expérience, modélisation, mesures, traitements numériques, puissance.*

Abstract

This article deals with the definition and application of an approach to analysing students' modelling activities. We have studied the students' activities during physics labwork sessions that were carried out in the classroom. For this we have recorded, transcribed then analysed students' dialogues during a labwork session whose aim was to introduce the concept of power. The results of this study show that the handling phase (construction of the experimental apparatus and taking of measurements) leads to the incidence of varied modelling activities, in comparison with phases linked to interpretation. We have also observed that the use of measurements is not spontaneous but rather dependent on the possibility of manipulating the concrete elements of the experiment.

Key words : *experiment, modelling, measurement, numerical calculation, power.*

Resumen

Este artículo concierne la definición y la ejecución de una grilla de análisis de las actividades de modelización de los alumnos. Nosotros hemos seleccionado de estudiar las actividades de los alumnos durante la realización de trabajos prácticos de física dentro de un contexto de situación de clase. Para ello hemos grabado, transcritos y analizado los diálogos de los alumnos durante la realización de un trabajo práctico el cual tenía como objetivo introducir el concepto de potencia. Los resultados de este estudio revelan que la fase de manipulación (construcción del montaje y realización de medidas) permite de ejecutar actividades de modelización variadas en comparación con las fases relacionadas con la interpretación. Se ha observado igualmente que la utilización de las medidas no es espontánea sino dependiente de la posibilidad de manipulación de los elementos materiales de la experiencia.

Palabras claves : *experiencia, modelización, medidas, tratamientos numéricos, potencia.*

INTRODUCTION

Depuis leur introduction officielle dans l'enseignement de la physique en France en 1902, les travaux pratiques (TP) ont fait l'objet de nombreuses controverses tant du point de vue de leur place dans l'enseignement que de leur fonction dans l'apprentissage. En fait, peu d'études ont porté sur les processus cognitifs de l'apprenant en jeu pendant la réalisation et l'interprétation d'une expérience. L'objectif de l'étude présentée ici est d'analyser ces processus du point de vue des activités de modélisation des élèves lorsqu'ils sont dans des conditions réelles d'enseignement. Nous avons conduit cette étude grâce à notre implication dans un projet ayant pour thème «l'enseignement de l'énergie» mené conjointement par

l'organisme en charge de la formation professionnelle des enseignants et notre équipe de recherche. Ce projet a pour origine la conjonction entre un nouveau programme officiel de première S (élèves âgés de 16 à 17 ans) en 1994 et les recherches entreprises depuis plusieurs années au sein de notre équipe. Nous avons récolté des données dans différentes classes dont les professeurs suivaient une progression d'enseignement commune et précédemment établie. Nous présenterons ici plus spécifiquement des résultats relatifs aux activités de modélisation des élèves lors d'un TP concernant l'introduction de la puissance.

1. CADRE THÉORIQUE

Notre cadre théorique vise à permettre d'une part la caractérisation des contenus d'enseignement fournis dans les programmes officiels, et d'autre part la description des activités de modélisation du physicien lorsque la situation expérimentale avec laquelle il interagit met en jeu des données quantitatives et leur traitement.

1.1. Innovations et enseignement de l'énergie

L'enseignement du concept d'énergie est un sujet qui a largement été débattu au sein de la communauté des chercheurs en didactique pendant les vingt dernières années (Solomon, 1985 ; Brook & Driver 1984 ; Duit, 1981, 1985 ; Brooks & Wells, 1988 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1992 ; Bental et al., 1995). Nous nous sommes rapportés aux critères d'analyse des propositions d'innovations sur l'enseignement de l'énergie (Koliopoulos & Tiberghien, 1986 ; Duit, 1985). Ces critères sont principalement relatifs aux aspects fondamentaux traités et aux formes d'introduction du concept d'énergie. Nous avons utilisé ces critères afin de caractériser les contenus d'enseignement figurant au programme officiel. Nous avons montré que l'enseignement de l'énergie au cours de ce siècle s'est orienté vers une simplification des contenus liée à une présentation partielle des principes et propriétés de l'énergie (Bécu-Robinault & Tiberghien, 1995). Nous avons également interprété les changements radicaux opérés dans la présentation de l'énergie dans les nouveaux programmes sur la base de ces critères d'analyse. Si de nombreuses modifications de contenus ont été proposées, peu de justifications ont été apportées au rôle de l'expérience dans la construction du sens de ce concept. Afin d'aborder ce rôle, nous avons choisi d'étudier les stratégies des élèves pendant la réalisation et l'interprétation d'une expérience en nous centrant plus particulièrement sur les activités de modélisation des élèves. Ce choix prend son origine dans

les recherches déjà entreprises sur la modélisation, tant du point de vue de la conception de situations d'enseignement que de celui de l'analyse du fonctionnement cognitif des élèves (Martinand, 1992 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1987 ; Méheut et al., 1994 ; Tiberghien & Mégalakaki, 1995).

1.2. Description des activités de modélisation

La question du rôle de l'expérience dans la construction des connaissances rejoint celle de nombreux épistémologues sur les liens entre les théories de la physique et le champ expérimental. Deux éléments constitutifs forment l'originalité et la complexité de la physique : le recours à l'expérience et le formalisme théorique. Pour aller au-delà du simple domaine de la perception des phénomènes, le physicien doit nécessairement recourir à ces formalismes (Feynman, 1980 ; Hulin, 1992). La physique ne peut pas être considérée comme étant seulement formelle, elle nécessite la prise en compte d'objets, d'événements, qui appartiennent à un monde que nous qualifions de «monde des choses». Les rapports permanents à ce monde des choses sont au coeur de la démarche du physicien.

Pour interpréter le monde des choses, le physicien devra faire référence aux connaissances en vigueur dans sa communauté comme par exemple les paradigmes (Kuhn, 1972), les lois, les principes fondamentaux, etc. Ces connaissances constituent les instruments théoriques permettant de donner un sens physique aux choses et à leurs relations. Elles appartiennent au monde des théories et des modèles (figure 1). La construction, la création de nouvelles théories - modèles sont validées à travers la relation permanente entre ces deux mondes que le physicien doit conserver à l'esprit (Feynman, 1980).

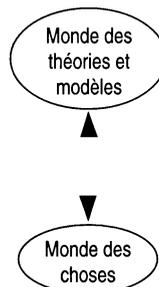


Figure 1 : Les deux mondes en relation dans la démarche du physicien

Selon cette approche, nous considérons les activités de modélisation du physicien relatives à une situation expérimentale. Dans son activité, la sélection et la transformation d'informations posent le problème de la définition de la frontière entre les différents éléments des deux mondes. Nous traçons cette frontière entre les éléments issus directement de l'expérience et ceux soumis à l'action directe du physicien. Ceci nous amène à définir des sous-niveaux à l'intérieur de chacun des mondes :

- les mesures relèvent du monde des choses (Tiberghien, 1994) ;
- les traitements numériques relèvent du monde des théories et modèles.

Pour les épistémologues (Bachelard, 1971 ; Gooding, 1989 ; Pickering, 1992) l'information obtenue à partir de la réalisation d'une expérience est toujours liée à l'interprétation et donc à la théorie-modèle choisie. Ceux-ci reconnaissent toutefois qu'il est possible d'opérer une dichotomie et de séparer ainsi ce qui ressort du domaine du champ expérimental et ce qui est issu des théories et modèles. Par exemple, Grandy (1992) place la mesure sur un plan proche des observations. « *Observation and measurement are both processes by which we wrest information about nature from the world and do some processing so that it can be used in theoretical reasoning* » (p. 187). Cette perspective est proche de celle de Gooding (1989) qui donne comme résultats d'une expérience les observations et les mesures. Il place ainsi sur le même plan toute information issue d'une expérience. Picavet (1995) effectue une bonne synthèse de cette réflexion en donnant du sens à la mesure par rapport à son référent objets/événements auquel elle ne fait qu'apporter une précision quantitative. Un autre argument pour placer la mesure au niveau du monde des choses est qu'il nous semble difficile de séparer la mesure de l'instrument qui l'a fournie. Lors de l'interprétation d'une expérience, le physicien ne reconstruit pas la théorie de la mesure, mais il prend celle-ci comme une information issue de la situation expérimentale qu'il faut traiter et interpréter.

Il est plus difficile de situer précisément le traitement numérique des grandeurs dans une représentation bipolaire du fonctionnement de la physique. Cette difficulté apparaît avec Galilée, lorsqu'il tente d'articuler deux formes de discours aux statuts jusqu'alors bien distincts : les mathématiques et la physique (Thuillier, 1988 ; Cantor, 1989). A travers ces problèmes, c'est la forte imbrication de l'outil mathématique dans les théories et modèles physiques qui surgit. C'est dans la double référence implicite des traitements de données à la mesure et à la théorie que réside l'ambiguïté de leur place dans cette classification (Giere, 1988). Les techniques de traitement des données apparaissent le plus souvent entre le niveau des mesures, objets et événements et celui du modèle

(Walliser, 1977 ; Paty, 1994). Ainsi, le traitement numérique nécessitant obligatoirement une action de sélection puis de transformation est, dans son essence même, une prémisse aux activités internes au modèle. Le modèle est considéré dans ce cas comme un «*opérateur sélectif*» (Bachelard, 1989). Cette approche nous incite à considérer qu'il existe non pas un niveau du modèle mais deux : le premier niveau, proche de la théorie est celui contenant l'ensemble des grandeurs physiques pertinentes à l'interprétation de la situation expérimentale. Il contient également toute forme de relations entre ces grandeurs physiques. Nous l'appellerons «*modèle physique*». Le deuxième contient, quant à lui, les variables pertinentes du point de vue du traitement des données, c'est-à-dire les nombres ou les expressions littérales, sans lien explicite avec la physique. Il comprend aussi les techniques de traitement, et toutes leurs formes de représentations (graphes, équations...) Ce niveau que nous appelons «*modèle numérique*» est celui qui permet un traitement purement numérique de l'information. Notons que le modèle physique peut faire intervenir des relations numériques entre les grandeurs physiques.

L'introduction des informations quantitatives dans une description des activités de modélisation nous amène à définir cinq niveaux qui peuvent tous être mis en relation (figure 2).

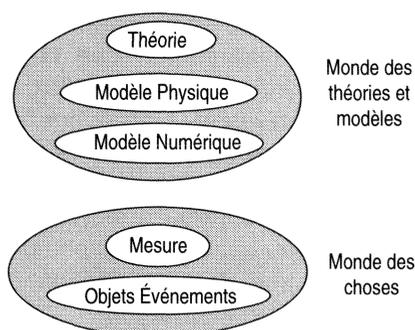


Figure 2 : **Place des aspects quantitatifs dans la description des deux mondes en relation**

Pour analyser les processus d'interprétation et de prédiction de l'élève réalisant une expérience, nous utilisons comme cadre de référence les activités de modélisation établies du point de vue du physicien (Tiberghien, 1994). Ainsi, les activités de l'élève pourront relever de ces cinq niveaux, dont les fonctionnements seront similaires ou non à ceux de la physique. Le modèle construit par l'élève aura la même fonction d'intermédiaire relationnel entre la théorie et le monde des choses, même si les théories de la physique et de l'élève ne sont pas compatibles du point de vue des contenus.

1.3. Question de recherche

Nous faisons l'hypothèse que la construction, par un apprenant, du sens d'un concept, et, dans notre cas, du concept de puissance, se fait en partie à travers les mises en relation que l'apprenant construit entre les différents niveaux de modélisation. Considérant cette hypothèse, notre objectif est double.

Nous visons tout d'abord à constituer une grille pertinente pour l'analyse des activités de modélisation et indépendante de la tâche à réaliser.

Nous chercherons ensuite à identifier, à partir de cette grille d'analyse, les niveaux utilisés et les mises en relation établies par les élèves en lien avec les caractéristiques de l'expérience et des consignes.

2. MÉTHODOLOGIE

Nous nous attacherons dans ce paragraphe à décrire la situation expérimentale étudiée ainsi que la grille d'analyse des activités de modélisation des élèves.

2.1. La situation analysée

Données récoltées

La situation expérimentale étudiée a été conduite dans des conditions réelles d'enseignement. Elle concerne l'introduction expérimentale du concept de puissance en classe de première S (élèves âgés de 16 à 17 ans). Tous les élèves d'une classe, travaillant par groupes de deux, réalisent simultanément une même expérience qui consiste essentiellement à chauffer une certaine quantité d'eau avec un thermoplongeur et à mesurer régulièrement l'énergie transférée au thermoplongeur. Le matériel utilisé est identique pour tous les groupes et seules les caractéristiques quantitatives des appareils diffèrent (constante du compteur d'énergie, puissance nominale du thermoplongeur, quantité d'eau à chauffer). Le déroulement du TP se fait sous le contrôle du professeur, le chercheur restant un observateur passif. Nous avons ainsi suivi la réalisation de ce TP dans quatre établissements d'enseignement secondaire de notre académie. Nous avons choisi de faire des enregistrements *audio* de groupes de deux élèves dans ces quatre établissements pendant la durée totale des expériences (1h 30). Nous avons ainsi enregistré vingt groupes et récolté

les productions écrites de l'ensemble des élèves des établissements concernés, ce qui représente au total 116 comptes rendus.

Les groupes d'élèves enregistrés ont été choisis par les professeurs comme des élèves ayant l'habitude de travailler ensemble et volontaires pour être enregistrés à différentes étapes de l'enseignement.

Classification des interventions

Six dialogues d'élèves pendant le TP (1h 30) ont été intégralement transcrits. Ils ont fait l'objet d'une première analyse visant à les diviser en cinq parties correspondant aux cinq activités traitées successivement. Ensuite, les interventions d'élèves ont été classées à partir de la grille d'analyse des activités de modélisation présentée au paragraphe suivant. Nous appelons proposition toute intervention ou groupe d'interventions mettant en oeuvre un ou plusieurs niveaux de modélisation. La répétition immédiate d'un même contenu n'est pas classée, lorsqu'elle n'est pas modifiée, contrairement à une répétition différée. Toute forme d'apport d'informations concernant l'un des niveaux est classée. Nous nous sommes intéressés aux productions du groupe et non aux apports spécifiques de chacun des deux élèves. Ce choix comporte des limitations pour notre analyse, mais il semble indispensable au stade de nos connaissances sur les activités de modélisation des élèves. En effet, les élèves coopérant pour résoudre les problèmes proposés, il est souvent difficile d'attribuer une activité de modélisation à un élève particulier. La majorité des activités est une résultante de l'interaction entre les élèves.

2.2. Constitution de la grille d'analyse des productions verbales

Dans cette présentation, nous nous attacherons à étayer, lorsque cela est possible, les catégories de notre grille d'analyse par des extraits de dialogues. Les définitions que nous donnons sont essentiellement reprises de Tiberghien (1994) en spécifiant plus particulièrement la place des aspects quantitatifs dans les activités de modélisation.

Théorie

Le niveau de la théorie contient le système explicatif.

Le critère d'appartenance à ce niveau est à la fois sémantique et contextuel. Le sens des termes utilisés, mais aussi le contexte donné par l'intégralité du dialogue des élèves sont utilisés pour justifier le classement d'une proposition à ce niveau. Une intervention relève de la théorie si elle est utilisée afin de fournir une explication à une relation entre des éléments du monde des objets/événements ou du modèle. Nous trouverons dans ce

niveau de la théorie : les paradigmes au sens de Kuhn, les principes, les lois, mais aussi la causalité, qui est un des principes explicatifs les plus utilisés chez les élèves (Viennot, 1993).

Modèles

- Le modèle physique est un intermédiaire entre la théorie et le champ expérimental nécessaire à l'interprétation d'une situation expérimentale en termes de la physique. Lors de l'interprétation ou la prédiction de faits expérimentaux, l'élève construit un modèle de la situation expérimentale (Tiberghien, 1994).

Le critère de classement est d'ordre lexical et sémantique. Les termes, ainsi que le sens qu'ils véhiculent, sont utilisés pour classer les propositions comme relevant de ce niveau. Les propositions doivent faire référence explicitement à des grandeurs physiques à travers leur nom ou leur représentation conventionnelle : symboles, unités...

Phil : *«tu mets que c'est la puissance la puissance c'est c'est euh... c'est l'énergie sur le temps.»*

Dans cet exemple, Phil tente de donner une signification à un nouveau concept, la puissance, en le définissant par rapport à d'autres concepts de la physique. Il utilise ainsi des éléments relatifs au modèle physique.

- Le modèle numérique contient des éléments numériques sélectionnés et traités dans l'expérience. Ce niveau permet, par l'utilisation des outils mathématiques, de mettre en relation des données numériques, de rechercher des invariants, d'extrapoler des résultats...

Le critère de classement d'une proposition dans cette catégorie est d'ordre lexical : les élèves ne prennent en compte explicitement ni les grandeurs physiques ni les valeurs mesurées. Notons qu'une approximation fait partie du niveau du modèle, alors que la lecture partielle d'une mesure fait partie du niveau de la mesure. Il est également possible de prendre en compte des relations entre lettres sans faire de lien avec les grandeurs physiques en jeu (exemple : $y = ax + b$).

Charles : *«74 divisé par 3,6 t'obtiens exactement 3,53 ça se rapproche de plus en plus de 3,6... et divise 25,7 par 7,2 et cetera... tu trouves environ une moyenne de 3,6».*

Ici, Charles utilise des éléments du modèle numérique, des nombres et des opérations entre nombres, pour rechercher une nouvelle valeur. Il n'établit aucun lien explicite entre ces nombres et leur signification du point de vue de la physique. En ce sens, le traitement des données est fait au sein du modèle numérique.

Mesures, objets et événements

• Le niveau de la mesure contient les informations quantitatives concernant les objets et événements.

Le critère d'appartenance à ce niveau est d'ordre lexical et sémantique. Il s'agit de grandeurs relevées sur les appareils de mesures ou fournies par le professeur, non modifiées (une modification peut correspondre à une conversion d'unités, une approximation, etc.). Les mesures peuvent correspondre à des lectures sur l'appareil, des lectures sur papier de mesures précédemment lues sur appareil, ou de mesures fournies par la consigne écrite. Une activité de calibrage, conduite en fonction des mesures prévues, fait partie des activités de mesure. À l'inverse, un calibrage imposé par une consigne est une activité relative aux objets et événements.

Paul : «*Top, 45 secondes !*»

Marine : «*et il est exactement, il fait 18 degrés / Combien le temps, 45 secondes ?*»

Paul et Marine effectuent le recueil de données à partir de leurs appareils de mesure. Les informations qui sont échangées, temps et température, sont relatives au niveau de la mesure.

• Le niveau des objets et événements contient tous les éléments matériels avec lesquels les élèves vont interagir. Il comprend les appareils, les objets et les événements sur lesquels l'expérience va porter.

Le critère de classement des propositions dans cette catégorie est lexical. Le langage associé à ce niveau est en lien avec la description des appareils, des branchements et des faits.

Marine : «*Attends, ton ampèremètre il va au thermoplongeur*».

Lors de son intervention, Marine désigne les appareils qu'il faut brancher. Par l'utilisation des termes désignant ces appareils, elle met en œuvre des éléments relatifs au niveau des objets et événements.

Les propositions peuvent mettre en œuvre chacun des niveaux :

- soit seul : lorsqu'une intervention relève d'un seul niveau ;
- soit mis en relation avec lui-même : relation interne ;
- soit mis en relation avec un autre niveau : relation externe.

2.3. La situation étudiée

Le TP que nous présentons (texte en annexe) concerne l'introduction expérimentale du concept de puissance. Il a pour objectif d'apprentissage de faire prendre conscience aux élèves de la nécessité d'introduire une nouvelle grandeur, la puissance, liée au débit d'énergie. Ce TP intervient après une séquence introduisant le «modèle énergétique». Ce modèle met en jeu les propriétés de transformation, transfert et stockage de l'énergie ainsi que le principe de conservation. Il vise à permettre l'interprétation des phénomènes énergétiques en termes de ces propriétés et principe qui peuvent être représentés par une chaîne énergétique (figure 3). Dans ce TP, il s'agira alors, pour les élèves, de différencier les concepts d'énergie et de puissance en prenant en compte la dimension temporelle des transferts d'énergie.

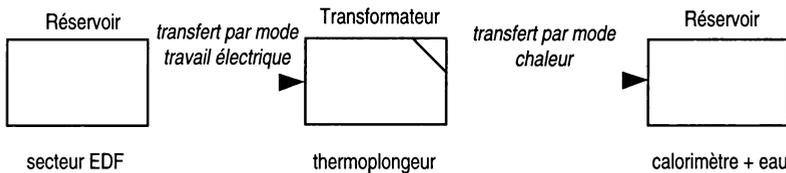


Figure 3 : Dessin de la chaîne énergétique pour l'expérience «introduction de la puissance»

L'énergie est présente dans l'interprétation de cette expérience en tant que grandeur première directement mesurable. La relation mathématique entre l'énergie et le temps est simple puisqu'il s'agit d'une relation de proportionnalité faisant intervenir la puissance. Ce concept est ainsi introduit dans le cadre d'une relation mathématique construite à partir des données expérimentales. Pour éviter que la puissance ne demeure qu'un simple coefficient mathématique, ses significations, autant du point de vue de l'interprétation physique de la situation que du point de vue de sa représentation sur la chaîne énergétique, seront demandées à l'élève.

La différenciation entre l'énergie et la puissance peut se faire selon différents points de vue :

- la puissance peut être assimilée à un débit : c'est la quantité d'énergie débitée par unité de temps à un endroit de la chaîne ;
- la nature des grandeurs étudiées peut être prise en compte. L'énergie est associée à l'état d'un système alors que la puissance correspond à une interaction entre systèmes ;

– la représentation symbolique de ces deux grandeurs est différente. Dans la chaîne énergétique, l'énergie est représentée au niveau des réservoirs alors que la puissance est représentée au niveau des transferts.

Nous allons analyser les cinq activités proposées en prenant en compte les niveaux exprimés à travers les questions. Nous précisons dans cette analyse les niveaux que les élèves doivent utiliser et mettre en relation, au minimum, pour fournir une réponse à la question.

Activité 1

La consigne adressée aux élèves porte sur la construction du montage, la prise des mesures et leur report dans le tableau. Elle met en jeu les niveaux des objets/événements et de la mesure.

Afin de donner une réponse, les élèves devront donc manipuler les objets, prendre des mesures et les convertir dans les unités du système international. Ainsi, les élèves doivent être amenés à faire usage des niveaux des objets/événements, de la mesure et du modèle physique. Le modèle physique est ici le lieu de traitement des valeurs mesurées. À travers ces activités, les élèves devraient également établir des relations entre les niveaux des objets/événements et de la mesure lors du recueil des informations quantitatives, et entre les niveaux de la mesure et du modèle physique lors de la transformation des valeurs mesurées.

Activité 2

La consigne donnée aux élèves relève d'un problème typique en physique, c'est-à-dire la recherche d'une relation entre deux grandeurs. La première partie de la question est liée à une démarche prédictive sur la situation expérimentale et les mesures. La deuxième partie explicite la méthode mathématique de recherche de la relation entre les grandeurs physiques. La question met ainsi en jeu le modèle physique mais aussi les objets/événements et la mesure. Pour orienter les élèves vers une formule du type $E = k \times t$, (avec $E =$ énergie, $k =$ constante et $t =$ temps), en plus du choix des unités nous avons volontairement placé, dans la consigne, le mot énergie avant le mot temps.

La relation à établir est une relation de proportionnalité, et toute liberté est laissée concernant le choix de la procédure : analogique ou analytique (Sokona, 1989). La forme de la relation n'est pas imposée. Les élèves pourront ainsi fournir une réponse avec une relation entièrement littérale, ou une relation avec une valeur numérique de la puissance. Pour fournir une réponse, les élèves devront faire intervenir, non seulement le niveau du modèle numérique, mais aussi celui du modèle physique et établir des relations entre ces deux niveaux.

Activité 3

Il est demandé aux élèves de donner un nom ou une signification à la grandeur introduite. La consigne relève du modèle physique, avec une ouverture vers d'autres niveaux grâce au terme «signification».

Pour répondre, les élèves devront mettre en oeuvre le niveau du modèle physique, et la signification de la grandeur pourra être obtenue par des relations entre le niveau du modèle physique et de la mesure ou celui des objets/événements. Des informations relatives à chacun de ces niveaux peuvent être utilisées pour la recherche de la signification : les objets/événements pour attacher la grandeur à un ou des éléments matériels de la situation et la mesure à travers les valeurs de la tension et de l'intensité électriques.

Cette activité représente une rupture du contrat didactique. Jusqu'alors, les élèves pouvaient résoudre les tâches à partir de procédures enseignées dans le cadre de la physique ou des mathématiques. Ici, il s'agit réellement de définir le coefficient de proportionnalité dans des termes qu'il faut choisir. Il est possible d'obtenir des réponses d'élèves relatives à :

- la puissance (terme seul) ou à un débit d'énergie ;
- la puissance électrique ;
- l'énergie sans lien avec un débit (confusion des concepts de puissance et d'énergie) ;
- des termes de la physique autres que l'énergie. Les termes seront alors employés en dehors de leur contexte usuel, ce qui implique une torsion du sens originel ;
- un domaine autre que la physique.

Aucune de ces réponses ne peut être considérée comme inexacte, car elles peuvent toutes être porteuses d'une signification de la puissance.

Activité 4

La consigne porte en premier lieu sur la construction de la chaîne énergétique représentant la situation de chauffage. Ensuite, il est demandé aux élèves de représenter la grandeur introduite sur cette chaîne. La consigne relève ainsi du niveau du modèle physique et de celui des objets/événements.

Pour fournir une réponse, les élèves devront utiliser et mettre en relation les objets/événements et le modèle physique. Ces relations permettront de donner un sens à la puissance par rapport aux objets et

événements (en lien avec les transferts d'énergie). Le concept de puissance prend son sens de grandeur d'interaction lorsque sa représentation sur la chaîne énergétique est associée aux transferts d'énergie. Une représentation de cette grandeur au niveau d'un réservoir ou transformateur peut signifier que la puissance ne correspond pas à une caractéristique d'interaction, mais à une caractéristique d'un objet, indépendamment de ses interactions avec les autres objets. La convention d'écriture de la grandeur introduite sur la chaîne devra être représentative des caractéristiques quantitatives et/ou qualitatives de la puissance. Par une telle représentation, nous aurons un véritable enrichissement du modèle énergétique précédemment enseigné.

Activité 5

Il est demandé aux élèves de spécifier de quels éléments, composant le montage, dépend la grandeur, et ce qu'il faudrait faire pour modifier sa valeur. Les questions relatives à cette activité relèvent du niveau du modèle physique et des objets/événements.

Les élèves ne disposent pas forcément des connaissances nécessaires pour fournir une réponse en termes d'objets. La modification du réservoir initial EDF peut ne pas être considérée comme possible. De ce fait, les réponses porteront plus vraisemblablement sur des aspects quantitatifs (tension, intensité) caractérisant l'alimentation électrique, c'est à dire des réponses portant sur les mesures. Nous estimerons donc comme étant des propositions de modifications pertinentes : la tension, l'intensité, la résistance, ou le thermoplongeur, l'alimentation électrique. Seront estimées comme modifications non pertinentes : la quantité d'eau et le récipient. Les modifications sont qualifiées de non pertinentes lorsqu'elles ne permettent pas de modifier la valeur de la puissance. Les élèves peuvent aussi fournir des réponses mélangeant des aspects pertinents et non pertinents. Cette dernière activité vise à établir un lien entre l'enrichissement du modèle effectué dans l'activité précédente et sa signification par rapport aux objets/événements de la situation expérimentale. Pour répondre à cette activité, les élèves devront donc prendre en compte les niveaux du modèle physique, de la mesure et des objets/événements et établir des relations entre ces niveaux.

L'analyse *a priori* des différentes activités est résumée sur la figure 4 qui donne, pour chacune d'entre elles, les niveaux mis en jeu dans la consigne et les niveaux de modélisation qui doivent être utilisés *au minimum* pour fournir une réponse acceptable par rapport aux attentes de l'enseignant. Nous pensons que les difficultés des élèves ou leur besoin de compréhension devraient les conduire à dépasser ce minimum.

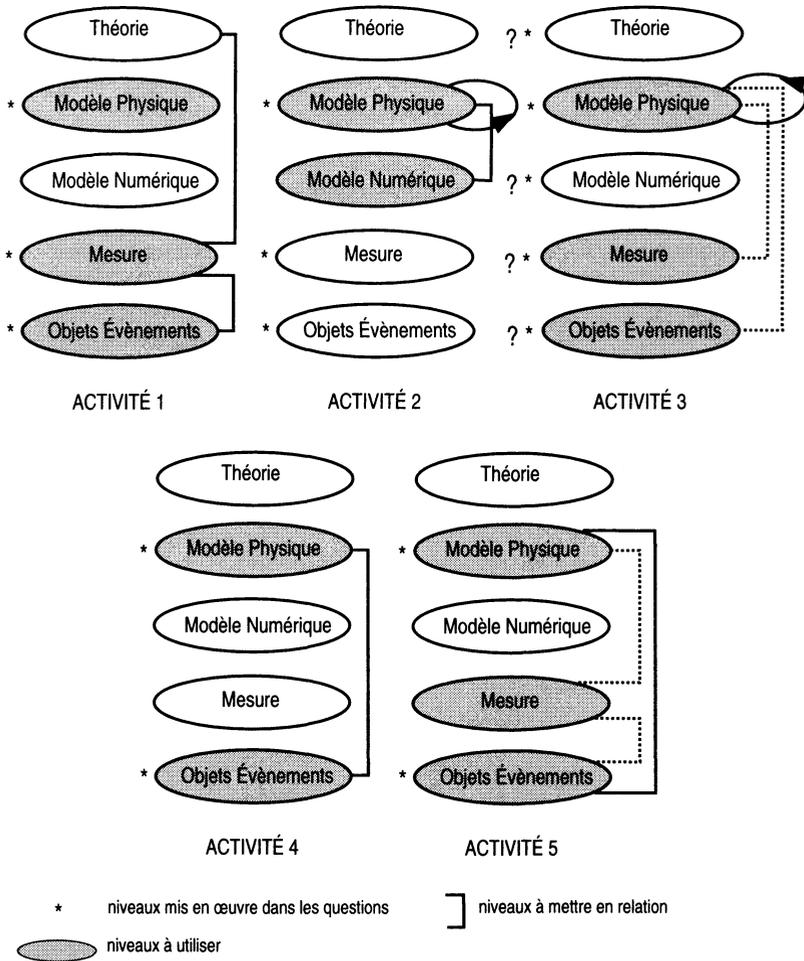


Figure 4 : Niveaux mis en jeu dans les questions, à utiliser et à mettre en relation, au minimum, pour fournir une réponse

3. RÉSULTATS

Dans cet article, nous nous limiterons à présenter des résultats communs aux différents groupes d'élèves.

3.1. Analyse des réponses écrites

Le tableau 1 ci-dessous situe les réponses écrites des six groupes d'élèves dont les dialogues ont été transcrits (initiales : PM, AM, CC, MJ, PA, JN) en relation aux réponses écrites de la totalité des 116 groupes. Pour cela, nous avons utilisé les catégories de réponses possibles énoncées dans l'analyse *a priori* des activités. Nous situons ainsi les groupes analysés dans l'ensemble des réponses.

Activités	Catégories des réponses écrites	Pourcentage des paires (n=116)	Paires enregistrées					
			PM	AM	CC	MJ	PA	JN
Activité 2 : relation	entièrement littérale avec une valeur numérique	49			x	x		
		78	x	x			x	x
Activité 3 : nom relatif à	un débit d'énergie	59	x	x	x	x	x	x
	la puissance électrique	26						
	l'énergie mais pas à un débit	8						
	la physique mais pas à l'énergie un domaine autre que physique	7 18						
Activité 4 : représentation	sur un transfert d'énergie	77	x	x	x	x		
	sur un réservoir ou un transformateur	8					x	x
	pas de représentation	15						
Activité 5 : modifications	pertinentes	69	x	x	x		x	x
	non pertinentes	7						
	mélange pertinentes / non pertinentes	13				x		

Tableau 1 : Répartition des réponses écrites des 116 groupes et des six groupes enregistrés selon les catégories de réponses aux cinq activités

Sur les 116 groupes, il apparaît que les élèves fournissent des réponses généralement correctes aux activités du point de vue du sens du concept de puissance.

Ce tableau montre que trois des six groupes transcrits ont fourni des réponses pertinentes pour les cinq activités. Deux des groupes (PA et JN) ont associé la puissance à un réservoir ou à un transformateur d'énergie,

et un des groupes (MJ) a proposé un mélange de modifications pertinentes et non pertinentes dans l'activité 5. Ce groupe a proposé de changer le thermoplongeur et le milieu à chauffer pour modifier la valeur de la puissance.

Nous remarquons que les réponses fournies par les six groupes transcrits correspondent à la majorité des réponses fournies par la totalité des 116 groupes, à l'exception des représentations de la grandeur sur la chaîne.

3.2. Analyse de la répartition des propositions

Le tableau 2 synthétise, pour chacun des six groupes transcrits, les propositions des élèves en fonction des activités du TP. Rappelons qu'une proposition peut être constituée d'une ou de plusieurs interventions. Les interventions non classées concernent le plus souvent des propos des élèves hors contexte de la tâche, des répétitions immédiates d'un même contenu, ou des interventions à caractère purement social.

Groupes	Nombre de propositions					total
	Activité 1	Activité 2	Activité 3	Activité 4	Activité 5	
PM	75	16	16	16	16	139
CC	69	32	51	10	8	170
PA	41	32	17	22	6	118
MJ	106	18	3	9	16	152
JN	98	29	1	10	27	165
AM	94	7	9	18	18	146
Total	483	134	97	85	91	890

Tableau 2 : Nombre des propositions en fonction des activités et des groupes d'élèves

Le nombre de propositions, pour chacun des groupes, est en moyenne de 150 avec un nombre très inférieur pour le groupe PA qui a réalisé l'expérience en très peu de temps à cause d'un dysfonctionnement du matériel. Le pourcentage de propositions est de 30% par rapport au nombre total d'interventions. La majorité des propositions et près de la moitié de la durée du TP concernent la première activité, c'est à dire la manipulation proprement dite (montage et prise de mesures).

Propositions mettant en jeu	Nombre de propositions et pourcentage (n = nombre total de propositions par activité)				
	Activité 1	Activité 2	Activité 3	Activité 4	Activité 5
un niveau seul	399 83 %	94 70 %	58 60 %	23 27 %	28 31 %
un niveau en relation interne	15 3 %	18 13 %	16 16 %	23 24 %	17 19 %
des niveaux en relation externe	65 13 %	22 17 %	22 23 %	29 34 %	43 47 %

Tableau 3 : Nombre et pourcentage de propositions en fonction des niveaux qu'elles mettent en jeu pour les cinq activités

Les propositions peuvent mettre en œuvre soit un seul niveau de modélisation, soit une relation interne soit une relation externe. La répartition indiquée dans le tableau 3 ci-dessus montre que la proportion des niveaux pris en compte seuls diminue avec les activités alors que celle des relations externes augmente. Les relations internes ont une importance qui tend à croître jusqu'à l'activité 4. Dans le cours des dialogues, nous constatons que les mises en relation sont faites ponctuellement parmi des propositions mettant en œuvre un seul niveau. Ceci indiquerait que les mises en relation passent par des prises en compte préalables des niveaux de modélisation pour eux-mêmes. En moyenne sur l'ensemble des activités, 70% des propositions des groupes mettent en jeu un seul niveau, 10% des relations internes, et 20% des relations externes. Ceci met en évidence le fait que, malgré les différentes mises en relation effectuées par les groupes, les proportions entre les différents types de prises en compte des niveaux sont les mêmes.

Après cet aperçu global de la répartition des propositions, nous analysons plus finement la réalisation des différentes activités par les six groupes.

3.3. Analyse des niveaux de modélisation

Le tableau 4 rassemble le nombre de mises en œuvre des niveaux de modélisation dans les cinq activités. Il indique, pour chacune d'entre elles, le nombre total de fois où les niveaux de modélisation ont été pris en compte dans les propositions de l'ensemble des groupes. Nous avons détaillé en parallèle les relations externes (RE) les relations internes (RI) et les expressions d'un niveau seul (S) pour chacun des niveaux et des activités.

Niveaux	Nombre de mises en œuvre des niveaux de modélisation									
	Activité 1		Activité 2		Activité 3		Activité 4		Activité 5	
	total	RE	total	RE	total	RE	total	RE	total	RE
		RI		RI		RI		RI		RI
		S		S		S		S		S
ModPhy	72	49 1 22	59	17 11 31	70	18 13 39	62	29 20 13	77	41 17 19
ModNum	92	19 2 71	75	15 7 53	32	14 1 17	3	1 0 2	11	9 0 2
Mes	201	46 12 143	10	6 0 4	5	4 1 0	0	0 0 0	11	10 0 1
ObEv	180	17 0 163	14	8 0 6	11	8 1 2	36	28 0 8	34	28 0 6

Tableau 4 : Nombre de mises en œuvre des niveaux de modélisation : dans les relations externes (RE), dans les relations internes (RI) et seuls (S)

Nous avons sélectionné les mises en relation qui ont été faites au moins par quatre des six groupes. Ces mises en relation représentent 80% de la totalité des mises en relation effectuées. Elles sont regroupées dans le tableau 5. Nous avons ajouté les mises en relation établies par trois des six groupes. Elles concernent les relations entre modèle physique et mesure dans l'activité 5.

Types des Mises en Relation	Nombre de mises en relation				
	Activité 1	Activité 2	Activité 3	Activité 4	Activité 5
Externe ModPhy – ModNum	7	9	10		
Externe ModPhy – Mes	30				(6)
Externe ModPhy – ObEv	11			28	28
Externe ModNum – Mes	10				
Externe Mes – ObEv	5				
Interne ModPhy		11	13	20	17
Interne ModNum		7			
Interne Mes	12				

Tableau 5 : Nombre et types de mises en relations établies par quatre des groupes sur six, ou trois sur six (entre parenthèses) pour les cinq activités

Les tableaux 4 et 5 sont illustrés par la figure 5 mettant en valeur :

– les niveaux les plus souvent pris en compte dans les propositions des groupes d'élèves (niveaux grisés). Ces niveaux représentent toujours plus de 80% des propositions. Ce sont ceux qui contribuent activement à la résolution de la tâche ;

– les mises en relation internes et externes faites par quatre des six groupes au moins (et par trois groupes pour l'activité 5).

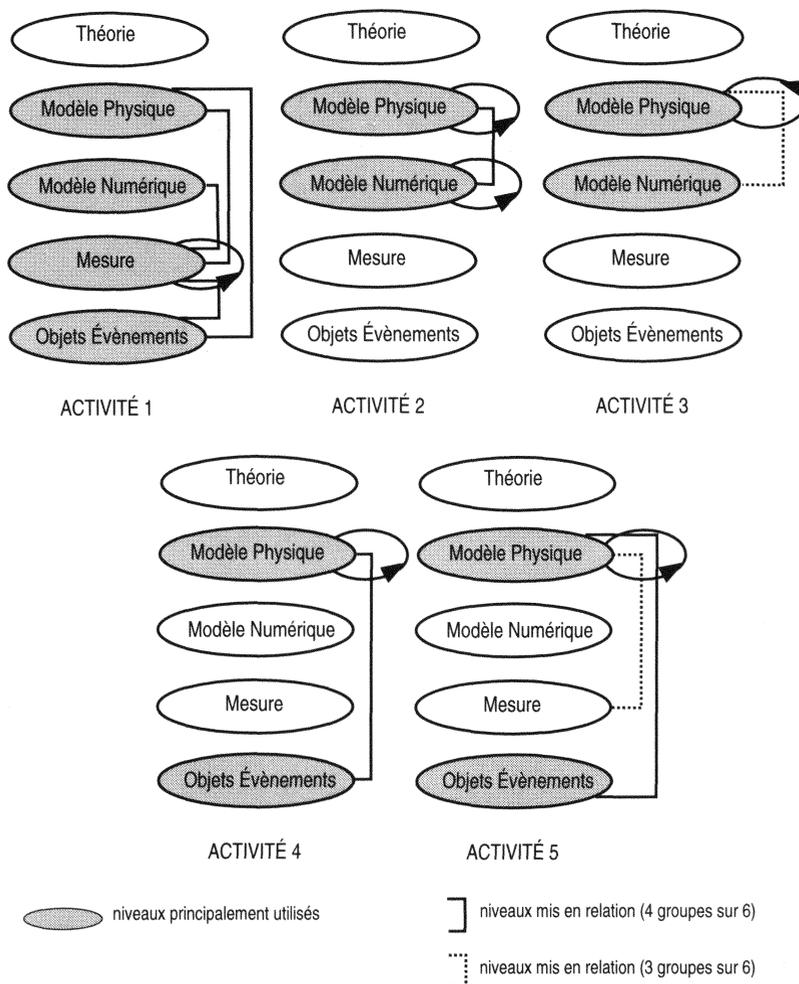


Figure 5 : Niveaux principalement utilisés par les élèves et mises en relations établies par quatre ou trois des groupes sur six

Pour chacune des cinq activités, nous détaillons celles des élèves, en comparant les résultats avec notre analyse *a priori*.

Activité 1

L'activité 1 est celle qui met en jeu le plus de niveaux et de mises en relation. En effet, c'est la seule activité où quatre niveaux sont pris en compte.

Le niveau de la mesure n'est mis en œuvre de manière sensible que dans cette activité. Les propositions relevant de ce niveau représentent alors le tiers des propositions. Même si ce niveau est surtout mis en œuvre seul, il est aussi mis en relation avec tous les autres niveaux, exception faite de la théorie. Ainsi, tous les groupes mettent en relation la mesure avec le modèle physique. Ceci leur permet d'effectuer la conversion des valeurs mesurées dans le système international, tout en leur conservant un sens physique.

Un faible nombre de relations a été obtenu entre les niveaux de la mesure et des objets/événements. À travers ces relations, les élèves associent les informations qualitatives aux données quantitatives.

Cédric : *«Parce qu'elle [la température] a augmenté, elle va commencer à diminuer... C'est le temps que ça [l'eau] refroidisse... /».*

Dans cet exemple, Cédric associe la variation de température au refroidissement progressif de l'eau.

Enfin, cette activité met aussi en jeu des relations internes à la mesure exprimant des événements ayant trait à l'évolution des informations quantitatives recueillies.

Maude : *«Attends deux secondes ça [la température] redescend / ouais ben là c'est à 28 à peu près hein.»*

Ainsi, **les activités de manipulation et de traitement de données quantitatives**, du fait qu'elles amènent à considérer les unités des quantités traitées, **favorisent les mises en relation entre la mesure et le modèle physique**. Elles permettent aussi de mettre en œuvre les autres activités de modélisation.

Un autre niveau ayant une importance aussi considérable dans cette activité est celui des objets et événements. Il est le plus souvent pris en compte seul. Lorsqu'il est mis en relation, c'est, soit avec le niveau de la mesure, soit avec celui du modèle physique. Nous pouvons nous demander si cette dernière relation ne serait pas favorisée lorsque les élèves ont accès à une vue globale de l'expérience, ce qui n'est pas le cas dans cette première activité.

Les autres niveaux les plus représentés sont ceux des modèles numérique et physique. Une telle importance du modèle numérique n'avait pas été prévue. Elle concerne le plus souvent ce niveau seul avec quelques mises en relation avec le niveau de la mesure. Il apparaît ainsi que **le modèle numérique est un outil construit par les élèves et utilisé comme intermédiaire facilitant le traitement des données.**

Noémie : «Attends c'est marqué là, la conversion. Un watt ah c'est... 1 est égale à 3600... faut multiplier par 3600, à chaque fois...»

Le niveau relatif à la théorie n'a jamais été pris en compte. Cette remarque est valable pour l'ensemble des cinq activités.

Nous avons remarqué que les niveaux du modèle numérique, de la mesure et surtout des objets/événements sont peu mis en relation. Les élèves prennent des mesures pour elles mêmes, observent des objets et événements, ou font des calculs sans forcément établir de liens avec un autre niveau de modélisation.

1 – Marine : «Bon alors, on part du truc, là du compteur...»

Paul : «Le compteur faut le brancher ...»

Marine : «Faut prendre ces fils là ! euh... borne moins celui-là allez hop !»

2 – Noémie : «J'ai regardé la température, c'est 20.»

3 – Marc : «18, ouais plus 3,6. ça fait 15 ouais 3 ouais si si ça fait ça 18 !»

À l'inverse, le niveau du modèle physique est plus facilement mis en relation avec un autre niveau. Toutefois, cette activité est la seule ne donnant pas lieu à des relations internes à ce modèle.

Phil : «c'est ça et ça ! [montre les appareils de mesure] ça c'est I et ça c'est V.»

Ainsi, **il semblerait qu'il soit plus facile pour les élèves de donner du sens au modèle physique par rapport à une situation expérimentale, que de donner un sens physique à une situation expérimentale lors d'une activité de manipulation.**

Activité 2

Lors de cette activité, les propositions des élèves concernent pratiquement les seuls niveaux des modèles physique et numérique. À partir de cette activité jusqu'à l'activité 5, les élèves effectuent constamment des mises en relation internes au modèle physique. Les activités en jeu ici

sont en adéquation avec notre analyse *a priori*, avec une importance plus marquée que nous ne l'avions prévue pour le modèle numérique. Ceci peut s'expliquer par un principe d'économie cognitive lors de la recherche de la relation. Les élèves peuvent ne prendre en compte que les valeurs qu'ils ont inscrites dans leur tableau, le rapport à la mesure effectuée ou aux objets/événements n'étant pas nécessaire. Comme dans les activités 3 et 4, le rapport à la mesure est très ponctuel, et n'est pas utilisé comme élément de réponse. Il s'agit principalement de lectures de la température ou d'échanges entre élèves concernant des valeurs manquantes dans le tableau. **Il ne s'agit plus de traiter les objets proprement dits de l'expérience, mais leur reconstruction sous une forme symbolique dans le tableau de valeurs numériques.**

Charles : «74, divisé par 3,6 t'obtiens exactement 3,53... ça se rapproche de plus en plus de 3,6... et divise 25,7 par 7,2 et cetera... tu trouves environ une moyenne de 3,6.»

Si les propositions mettent en oeuvre le modèle physique indifféremment seul ou mis en relation, cela n'est pas le cas pour le modèle numérique qui est le plus souvent utilisé seul. Cela nous conduit à penser que **la recherche d'une constante se fait principalement au sein du seul niveau du modèle numérique**, et que **la recherche de la relation entre grandeurs nécessite des relations internes ou externes au niveau du modèle physique.**

Maude : «Ah 23400 / 230400 euh ouais mais / ça serait $E1 \times t2 = E2 \times t1$?»

Nous avons analysé les types de procédures utilisées par les groupes pour obtenir la proportionnalité. La procédure utilisée par l'ensemble des groupes est la procédure analytique, même lorsque les intervalles de temps ont été notés comme égaux. Cette procédure consiste à reconnaître que l'opérateur permettant de passer d'une valeur de l'énergie à la valeur correspondante du temps est toujours le même.

Paul : «Oh ! c'est marrant regarde, je trouve plus quarante cinq secondes, plus cinquante, plus quarante cinq, plus cinquante plus quarante cinq... Chaque fois j'ai pris des valeurs approchées et puis...»

Marine : «Faut chercher une relation alors tu cherches, tu prends ta calculatrice et puis tu me la trouves !»

Paul : «Ça fait à peu près 320 je sais pas si il faut le faire... Tu regardes sur Laurent !»

De plus si deux groupes énoncent explicitement la proportionnalité comme hypothèse, tous les groupes recherchent une telle relation, sans forcément l'expliciter. Ceci peut être analysé comme un effet de contrat

didactique. Pour les élèves de ce niveau scolaire qui n'ont jusque là été confrontés en physique qu'à des relations de proportionnalité, les relations entre grandeurs physiques seraient toujours linéaires.

Charles : «*Voilà, donc on passe à la deuxième question.*»

Cédric : «*Ben c'est proportionnel.*»

Dans les dialogues nous trouvons quelques justifications aux mises en œuvre du niveau des objets/événements.

1 – Jane : «*On a t qui est égale à 300... alors, l'énergie en joules est égale à 320 fois t. 320, ça peut être quoi... Regarde, on a l'énergie et on a le temps... Je suis sûre que ça a un rapport avec le thermoplongeur. Ou alors avec ça peut-être.*»

2 – Charles : «*Ah, comment ça s'appelle, des watt par tours c'est la... [...] C'est comme pour une perceuse...*»

Ces exemples montrent que **la prise en compte des objets/événements permet la recherche de la signification des grandeurs ou des unités en jeu dans la relation entre l'énergie et le temps.**

Activité 3

Dans cette activité, les prises en compte du modèle physique concernent près du tiers des propositions.

Paul : «*Constante euh... de passage d'un courant mais euh... constante de passage de l'énergie en fonction du temps...*»

L'ensemble des groupes a surtout mis en œuvre les modèles physique et numérique afin de qualifier la grandeur introduite. **Les élèves marquent ainsi une préférence à l'utilisation des connaissances issues de la physique ou des procédures de calculs pour élaborer le modèle, et donner ainsi une légitimité à leurs productions.**

1 – Phil : «*Et ben tu mets que c'est la puissance la puissance c'est c'est euh... c'est l'énergie sur le temps.*»

2 – Cédric : «*Oui, d'accord, mais c'est pas C directement. Parce que toi tu as mis une puissance par tours. On peut pas mettre une puissance par tour.*»

3 – Marine : «*Travail de l'énergie...*»

Paul : «*T'en veux à ton transfert et ton travail, hein ! Laisse-les tranquilles ! Remarque c'est peut-être ça, je sais pas moi !*»

Les propositions relevant du niveau de la mesure ou des objets/événements sont peu importantes alors que nous les avons considérées *a priori* comme nécessaires. Les mesures de la tension et de l'intensité électriques (U, I) auraient pu être utilisées afin de vérifier que le terme «puissance» correspond à la puissance enseignée en électricité avec la relation $P = UI$. Alors que ce terme a été introduit par cinq des groupes, la mesure n'a jamais été utilisée à ce stade de la résolution. Les éléments de la situation matérielle ont été aussi peu utilisés lors de la recherche du nom de la grandeur introduite. Ces observations montrent une **difficulté des élèves à mobiliser des éléments des niveaux relatifs à la situation matérielle dans une perspective d'enrichissement d'un modèle physique.**

Activité 4

Lors de cette activité, les propositions des élèves prennent en compte deux niveaux fréquemment mis en relation : le modèle physique et les objets/événements.

1 – Annie : «*Y a un travail électrique / ouais, il y a un travail électrique avec les fils.*»

2 – Marc : «*Ouais, euh réservoir.../EDF allez ! donc thermoplongeur... Ouais il y a pas de frott [ements], il y a pas de déperditions ouais... frottements, bien sûr ! Piou !*»

Les stratégies de résolution des élèves correspondent exactement à notre analyse *a priori*. Ces résultats confirment ceux obtenus par Tiberghien et Mégalakaki (1995) concernant la tâche d'introduction du modèle énergétique. Les aspects quantitatifs, tant du point de vue de la mesure que de celui des traitements numériques, sont absents dans cette activité. Nous noterons que la prise en compte de ces aspects n'apporte pas nécessairement d'éléments supplémentaires pertinents pour la réussite de cette tâche. **La représentation symbolique des aspects qualitatifs d'une expérience est donc propice à la mise en oeuvre de relations entre le niveau des objets/événements et celui du modèle physique.**

Noémie : «*Non, mais c'est par rapport à... au thermoplongeur. Faut le mettre là... parce que s'il est puissant, ça va diminuer ; s'il est pas puissant, le temps, y va augmenter. Donc c'est tout par rapport à ça.*»

Ce dernier exemple nous montre que même les informations à contenu quantitatif sont considérées d'un point de vue qualitatif.

Un deuxième type de mise en relation domine cette activité : les relations internes au modèle physique. Ces mises en relation permettent

aux élèves de confirmer les réponses fournies à cette activité ainsi qu'aux précédentes, sur la base d'autres connaissances relatives au modèle physique.

Activité 5

Dans cette activité, comme dans la précédente, une majorité de propositions d'élèves met en œuvre le modèle physique et les objets/événements. Ces mises en relation sont généralement liées à l'utilisation de la chaîne énergétique pour la recherche des objets qu'il est possible de modifier.

Jane : *«Le voltage ouais. alors... La puissance... On peut modifier la tension d'alimentation avec un potentiomètre...»*

Noémie : *«Pas forcément.»*

Jane : *«...mètre par exemple...»*

Noémie : *«Donc elle dépend pas du transformateur la grandeur.»*

Outre ce premier type de mises en relation, nous avons relevé, pour trois des groupes, des relations entre le modèle physique et la mesure. À travers ces relations, les élèves reconnaissent un argument de poids pour justifier de la modification de la situation matérielle.

1 – Cédric : *«I et U sont constants, donc la puissance elle dépend pas de de la centrale... enfin du secteur non c'est a c'est U et I...»*

2 – Paul : *«Non, du secteur, du secteur et du thermoplongeur ! de la puissance du secteur parce que tu sais on a trouvé en intensité en ampère, U quand tu fais U fois I ça te donne 303,6. La valeur c'est ça [...]»*

3 – Annie : *«Ah laisse-le pour l'instant on en prendra un là-bas parce que tu sais encore $P=U*I$ donc ça dépend bien du volt et de l'intens[ité]... parce qu'aussi... ils composent le montage.»*

Ces prises en compte du niveau de la mesure interviennent après les propositions de modifications des objets de l'expérience. Elles correspondent ainsi, le plus souvent, à des procédures de vérification des assertions précédentes. Ces mises en relation avec la mesure ne sont pas spontanées dans une tâche autre que celle de la lecture des mesures sur les appareils lors de la manipulation. **Les mesures ne sont prises en compte que lorsque la situation matérielle est modifiée.** Le rapport à la mesure est donc intimement lié aux objets matériels à manipuler.

Nous avons souligné la présence marquée de relations internes au modèle physique à travers l'ensemble des activités. Ces relations peuvent être interprétées à partir de l'analyse des registres sémiotiques employés

(langue naturelle, écriture symbolique, graphe, représentation iconique) et de la nécessité, pour les élèves, de changer de registres afin de donner plus de sens à leurs propositions (Duval, 1995). Une analyse parallèle des transformations de registres (Bécu-Robinault, 1997) a montré la volonté permanente des élèves d'utiliser le registre de la langue naturelle lors des propositions relatives au niveau du modèle physique, mais aussi des autres niveaux de modélisation.

4. CONCLUSION

La grille d'analyse des activités de modélisation des élèves que nous avons définie a permis de mettre en lumière un certain nombre de résultats.

La phase de manipulation nous apparaît comme la phase la plus riche de l'expérience du point de vue des niveaux de modélisation qu'elle incite à mettre en œuvre, même si la proportion de relations établies n'est pas aussi importante que pour les activités suivantes. Ceci tend à renforcer l'intérêt que présente la manipulation (construction du montage et prise de mesures) pour aider les élèves à construire le sens d'un concept physique.

Nous avons constaté les réticences des élèves à utiliser le niveau de la mesure. Celui-ci n'est pris en compte que lorsque les objets et événements sont modifiés. Tout se passe comme si ce niveau ne pouvait être mis en œuvre (autorisé) que lorsqu'il est possible de manipuler les objets et événements. Ces deux niveaux semblent donc être fortement liés et la mise en œuvre du niveau de la mesure n'est pas spontanée mais contrainte par la manipulation.

Les relations entre le modèle physique et les objets/événements sont surtout faites lorsque les élèves ont à utiliser une représentation symbolique telle que la chaîne énergétique. Elles sont donc établies à la suite de consignes contraignant les élèves à mettre en relation ces deux niveaux.

La construction du modèle est basée principalement sur les éléments faisant déjà partie de ce niveau. Cela peut être révélateur de la volonté des élèves de justifier leur construction non pas d'après des éléments matériels (démarche inductiviste ou hypothético-déductive) mais d'après des éléments du modèle déjà établis. Il s'agit ainsi d'une démarche de construction interne au modèle. Il semblerait qu'il soit plus facile de construire des connaissances à partir des éléments d'un même niveau qu'en établissant des relations avec d'autres niveaux.

Ces résultats ont été confrontés à d'autres obtenus lors de TP dont les caractéristiques sont différentes, autant du point de vue de la situation expérimentale que des questions adressées aux élèves (Bécu-Robinault,

1997). Nous avons ainsi validé l'importance du modèle physique dans l'interprétation de l'expérience, mais aussi la difficulté des élèves à prendre en compte les informations issues des niveaux de la mesure et des objets et événements.

BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD G. (1971). *Épistémologie, textes choisis*. Paris, PUF.
- BACHELARD S. (1989). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre & M. Thellier (Éds), *Élaboration et justification des modèles*. Paris, Maloine, vol. 1, pp. 3-18.
- BÉCU-ROBINAULT K. (1997). *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1.
- BÉCU-ROBINAULT K. & TIBERGHIE A. (1995). Un exemple d'articulation entre recherches d'après manuels et recherches dans le cadre d'un enseignement réel : l'étude des expériences sur les phénomènes énergétiques. In G. Mary & W. Kaminsky (Éds), *Actes du Cinquième Séminaire National de Recherche en Didactique de la Physique*. Reims, Université de Reims et IUFM de Reims, pp. 71-95.
- BENTAL D., TIBERGHIE A., BAKER M. & MEGALAKAKI O. (1995). *Analyse et modélisation de l'apprentissage des notions de l'énergie dans l'environnement «chêne»*. Rapport de recherche interne COAST n° CR-8/95.
- BROOK A. & DRIVER R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of energy : full report, Children's Learning in Science Project*. Leeds, University of Leeds.
- BROOK A. & WELLS P. (1988). Conserving the circus, an alternative approach to teaching and learning about energy. *Physics Education*, n° 23, pp. 80-85.
- CANTOR G. (1989). The rhetoric of experiment. In G. Gooding, T. Pinch, S. Schaffer (Éds), *the uses of experiment - Studies in the natural sciences*. Cambridge University Press, pp. 159-180.
- DUIT R. (1981). Understanding energy as a conserved quantity. *European Journal of Science Education*, vol. 3, n° 3, pp. 291-301.
- DUIT R. (1985). In search of an energy concept. Paper prepared for «conference on teaching about energy within the secondary school science curriculum». Leeds, March 1985.
- DUVAL R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Berne, Peter Lang.
- FEYNMAN R. (1980). *La nature de la physique*. Paris, Seuil.
- GIERE R. (1988). *Explaining science, a cognitive approach*. The University of Chicago Press.
- GOODING D. (1989). Introduction : some uses of experiment. In G. Gooding, T. Pinch, S. Schaffer (Éds), *The uses of experiment - Studies in the natural sciences*. Cambridge University Press, pp. 1-27.
- GRANDY R. (1992). Information, observation, and measurement from the viewpoint of a cognitive philosophy of science. In N. Giere (Éd.), *Cognitive models of science*. Minneapolis, University of Minnesota Press, pp. 187-206.
- HULIN M. (1992). *Le mirage et la nécessité. Pour une redéfinition de la formation scientifique de base*. Paris, Presses de l'École Normale Supérieure et Palais de la Découverte.
- KOLIOPOULOS D. & TIBERGHIE A. (1986). Éléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèves. *Aster*, n° 2, pp. 167-178.

- KUHN T.S. (1972). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, Flammarion.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1987). Apprentissage de la modélisation à propos de l'enseignement de la mécanique au lycée. In *Enseignement et apprentissage de la modélisation, quantité de mouvement, modèle particulière*, action concertée : recherche en éducation et en formation, rapport de fin de contrat. Paris, LIRESPT, pp. 77-155.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1992). L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie. In J.-L. Martinand (Dir.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP, pp. 171-231.
- MARTINAND J.-L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP.
- MÉHEUT M., CHOMAT A. & LARCHER C. (1994). Construction d'un modèle cinétique de gaz par des élèves de collège : jeux de questionnement et de simulation. In M. Caillot (Éd.), *Actes du Quatrième Séminaire National de la Recherche en Didactique des Sciences Physiques*. Amiens, IUFM de Picardie, pp. 53-71.
- PATY M. (1994). Mesure expérience et objet théorique en physique. In J.C. Beaune (Éd.), *La mesure, Instruments et philosophies*. Seyssel, Champ Vallon, pp. 159-174.
- PICAVET E. (1995). *Approches du concret, une introduction à l'épistémologie*. Paris, Marketing.
- PICKERING A. (1992). Living in the material world. In G. Gooding, T. Pinch, S. Schaffer (Éds), *The uses of experiment - Studies in the natural sciences*. Cambridge University Press, pp. 275-297.
- SOKONA S. (1989). Aspects analytiques et aspects analogiques de la proportionnalité dans une situation de formulation. *Petit x*, n° 19, pp 5-27.
- SOLOMON, J. (1985). Learning and evaluation : a study of school children's views on the social uses of energy. *Social Studies of Science*, vol. 15, pp. 343-371.
- THUILLIER P. (1988). Les Jésuites ont-ils été les pionniers de la science moderne ? *La Recherche*, n° 19, pp. 88-92.
- TIBERGHIE A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching - learning situations. *Learning and instructions*, vol. 4, pp. 71-87.
- TIBERGHIE A. & MEGALAKAKI O. (1995). Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of Psychology of Education*, vol. X, n° 4, pp. 369-383.
- VIENNOT L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, n° 1, pp. 13-27.
- WALLISER B. (1977). *Systèmes et modèles, introduction critique à l'analyse des systèmes*. Paris, Seuil.

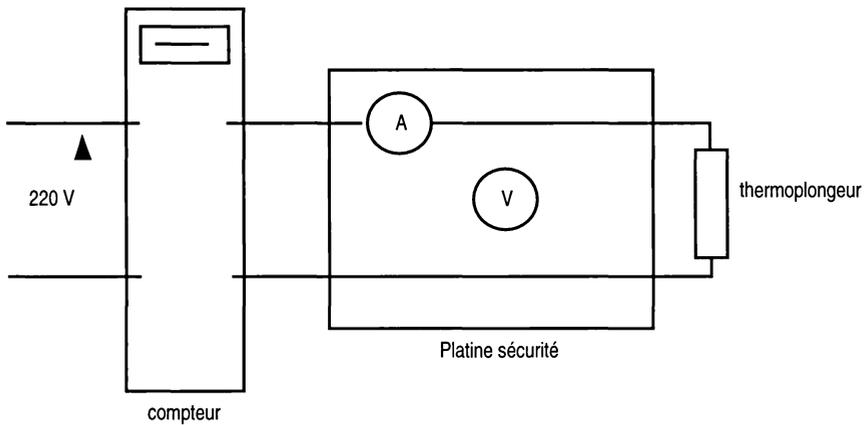
Ce travail a bénéficié du soutien du projet européen «Labwork in Science Education» (Contrat SOE₂ CT 95 2001) financé par la Direction Générale XII de la Commission Européenne.

ANNEXE

TP : Introduction de la puissance

Nous nous proposons de chauffer de l'eau à l'aide d'un thermoplongeur (ou d'un appareil analogue) et de faire une analyse énergétique de la situation.

Activité N° 1 : faire le montage avec tous les appareils de mesures selon le schéma ci-dessous :



Procéder aux mesures.

$U =$ V et $I =$ A.

n (tours)	E (Wh)	E (J)	t (min et s)	t (s)	q (°C)
0	0	0	0	0	q ₀ =
1					
...					
10					

Activité N° 2 : pour cette expérience, on souhaiterait pouvoir prévoir les résultats sans avoir besoin de faire toutes les mesures.

Pour cela, chercher une formule mathématique simple qui permettrait de relier la quantité d'énergie transférée E et la durée du chauffage t . Dans cette activité, aucune autre grandeur que E et t n'est à prendre en compte. Soit $E = f(t)$ cette formule. On utilisera les unités du système international.

Activité N° 3 : dans cette relation, vous avez dû introduire une grandeur qui n'a pas encore été évoquée dans ce TP. Trouvez un nom ou une expression qui traduise la signification de cette grandeur.

Activité N° 4 : construire une chaîne énergétique «pendant» représentant la situation de chauffage :

– écrire une phrase pour préciser où on pourrait y faire figurer la grandeur que vous venez de nommer,

– faire figurer cette grandeur.

Activité N° 5 : de quels éléments qui composent le montage et qui sont représentés sur la chaîne dépend cette grandeur ?

Que faudrait-il faire concrètement pour modifier sa valeur ?

Les indications des appareils de mesures apportent-elles une confirmation à votre réponse ? Justifier.

Modèles et modélisation dans les séquences de travaux pratiques sur le haut-parleur en classe de seconde

Claude LUC, Alain DUREY

LIREST
ENS Cachan,
61 Avenue du Président Wilson
94235 Cachan, France.

Résumé

Cet article traite de l'analyse de neuf séquences de travaux pratiques de 90 minutes réalisées dans des classes de seconde de lycée. Les neuf classes et leurs professeurs sont différents. Le thème, imposé par le programme, est identique : le haut-parleur comme objet technique et son phénomène principe (la force électromagnétique de Laplace). Il ressort de cette analyse que les progressions sont organisées en étapes. Chaque étape comporte l'étude d'un système technique, modèle physique du haut-parleur, alimenté par un type de courant électrique. Dans toutes les séquences, l'essentiel du temps est consacré à l'établissement du modèle quantitatif $F=k.i$ (linéarité entre la force de Laplace F , et l'intensité i du courant continu circulant dans le conducteur). Le temps consacré à l'interprétation du fonctionnement du haut-parleur est le plus souvent limité, voire inexistant. Dans les séquences où elle est présente, cette interprétation prend appui sur les relations analogiques existant entre les systèmes étudiés et leurs phénoménographies, et sur les simulations d'un système par un autre. Elle n'a jamais pris appui sur le modèle construit : $F=k.i$. Les professeurs ont ainsi privilégié l'étude du phénomène en courant continu à celle du haut-parleur fonctionnant en régime alternatif.

Mots clés : travaux pratiques, objet technique, phénomène physique, modélisation, explication

Abstract

This article deals with the analysis of nine ninety-minute practice works sequences carried out within fifth form's groups. Those nine classes and their teachers are different. The theme, imposed by the program, is the same : loudspeaker as a technical object and its principle phenomenon – Laplace's electromagnetic force –. It is deduced from this analysis that progressions are organized into steps. Each one is meant to the study of a technical system- loudspeaker physical model- powered by a type of electric current. In all the sequences, most of the time is devoted to the drawing up of the quantitative model $F = k.i$ – linearity power strength of direct current within the conductor –. Time related to the interpretation of the working of the loudspeaker is usually limited, even non existent. When sequences comprise an interpretation , this one relies on : analog relations existing between studied systems and their phenomenographies, simulations of a system by one another. But it never relied on the drawn up model $F = k.i$. Hence the teachers have favored the study of the phenomenon working with direct current over the one working with alternating current.

Key words : *practice works, technical object, phenomenon physical, modelling, explanation.*

Resumen

Este artículo trata de la análisis de nueve secuencias prácticas de 90 minutos realizadas en clases de secunda de institutos de secunda enseñanza. Las nueve clases y sus profesores están diferentes y el tema, impuesto por el programa, idéntico : el altavoz como objeto técnico y su fenómeno principio (la fuerza electromagnética de Laplace). Resalta de esta análisis que las progresiones están organizadas en etapas. Cada etapa compone el estudio de un sistema técnico, modelo físico del altavoz , alimentado por un tipo de corriente eléctrica. En todas estas secuencias, la mayor parte del tiempo está consagrada a la elaboración del modelo cuantitativo $F = k.i$ (linealidad fuerza, intensidad del corriente continua en el conductor). El tiempo consagrado a la interpretación del funcionamiento del altavoz es las más de las veces limitado o inexistente. La interpretación se apoya sobre : las relaciones analógicas entre sistemas estudiados y sus fenomenografías, las simulaciones de un sistema por un otro. Nunca se apoya sobre el modelo cuantitativo establecido : $F = k.i$. Los profesores han dado preferencia al estudio del fenómeno en corriente continua y han dejado de lado el funcionamiento del altavo.

Palabras claves : *prácticas, objeto técnico, fenómeno físico, modelización, explicación.*

INTRODUCTION

Notre préoccupation de recherche est celle de l'articulation, au sein des curriculums de sciences physiques, (De Landsheere, 1979, p. 79) entre le monde des objets techniques et celui des phénomènes physiques. Pour G. De Landsheere un curriculum est un ensemble d'actions planifiées pour susciter l'instruction avec définition des objectifs de l'enseignement, des contenus, des méthodes, des matériels, des dispositions relatives à la formation des enseignants. Dans cet article, nous souhaitons porter notre attention, à l'occasion de l'analyse de curriculums réels¹, (Perrenoud, 1990) sur la façon dont les enseignants conduisent, concrètement, la description-explication du principe de fonctionnement d'un objet technique à l'aide des savoirs propres aux «*phénomènes physiques naturels détournés*» (Martinand, 1995, p. 347) pour faire fonctionner l'objet.

Traditionnellement, les objets dont on étudie le principe de fonctionnement sont inscrits dans les programmes pour que leur principe vienne illustrer, par application directe, les savoirs de la physique préalablement construits (par exemple le principe de l'alternateur ou du transformateur après les lois de l'induction électromagnétique). Les textes des actuels programmes de lycée marquent une certaine évolution dans les relations entre le monde des objets techniques et celui des savoirs de physique. Le découpage classique des contenus en électricité, mécanique... fait maintenant place à une approche par thèmes conducteurs (BOEN, 1992). Ainsi, «*le programme de seconde prend appui sur un thème conducteur qui concerne l'environnement quotidien ... sons, reproduction des sons, musique et lumière*». Les auteurs poursuivent en indiquant que la présentation de l'enseignement doit s'attacher à «*montrer que la compréhension des objets techniques ou des phénomènes rencontrés dans la vie quotidienne nécessite des connaissances variées. Celles-ci seront mises en place, chaque fois qu'elles sont nécessaires et seulement dans ce cas*». Il ne s'agit donc plus d'introduire des connaissances pour elles-mêmes, mais pour comprendre le monde naturel et technique.

Au sein de ce thème du programme de seconde, dans la rubrique «contenus», il est précisé au paragraphe 2.1.4. «*Principe du haut-parleur (HP)*» et aussitôt après «*Fondements physiques : action d'un aimant sur un conducteur parcouru par un courant. Expression de l'intensité de la force dans un cas simple $F = k.i$* ». Ce contenu présente une double originalité : d'une part le phénomène de Laplace est introduit au sein du thème acoustique, thème fort éloigné de l'électromagnétisme, d'autre part

1 Perrenoud distingue le curriculum formel/prescrit et le curriculum réel mis en œuvre dans les classes.

le modèle $F = k.i$, sans doute introduit pour interpréter le fonctionnement du HP, est lui aussi très éloigné du modèle savant $F = B.i.l. \sin \alpha$.

Les recommandations concernant l'étude du HP sont les suivantes :

- analyser la fonction transducteur électro-acoustique (puissance, bande passante, identité fréquence son émis/membrane) ;
- analyser la structure des organes internes ;
- expliquer le comportement en fonctionnement.

Quant aux recommandations concernant l'étude du phénomène de Laplace, il est précisé :

- mettre en évidence les conditions de son existence ;
- développer son étude qualitative ;
- développer son étude quantitative à partir d'une expérimentation et d'un relevé de mesures sur un vrai HP alimenté par une intensité continue. Cette dernière recommandation nous paraît assez nouvelle dans l'enseignement de la physique au lycée.

Il ressort de ces textes la volonté d'une double relation entre l'étude du HP et celle du phénomène de Laplace. Le HP doit servir de dispositif pour la modélisation expérimentale du phénomène. Parallèlement les connaissances établies sur le phénomène doivent être les outils d'interprétation du fonctionnement normal de l'objet technique associé au phénomène.

Comment ces recommandations originales et fortes des curriculums prescrits, à propos de ce thème, se traduisent-elles au niveau des curriculums réels ? C'est pour tenter de répondre à cette question que nous avons décidé de porter un regard de recherche sur le terrain, en enregistrant et en analysant des séquences de travaux pratiques sur le HP dans les classes de seconde de lycée.

2. UN PROBLÈME *A PRIORI* AU NIVEAU DE LA COHÉRENCE INTERNE DES SAVOIRS PRESCRITS

Il nous semble qu'un problème de cohérence interne se pose, dès le départ, au cœur même des savoirs à enseigner relatifs à ce thème. Le haut-parleur, comme transducteur électro-acoustique en fonctionnement usuel, est le siège de multiples phénomènes physiques (force de Laplace, élasticité de la membrane, courants induits et auto-induits, forces de viscosité et de pression des couches d'air sur la membrane, résonance,

etc.) L'équation mécanique $mx'' + ax' + kx = B.i.l$ (Pérez, 1995, p.475 ; Scache et al, 1997) qui gère le fonctionnement usuel du HP traite, de façon dynamique, un oscillateur masse-ressort, amorti par des frottements fluides, et soumis à une force de Laplace. Alimenté en courant continu, le HP devient régi par l'équation $kx = B.i.l$. Cette relation traduit l'équilibre de la membrane entre la force de Laplace due au système aimant-bobine et la force élastique de la suspension sur la membrane. Pour le HP alimenté en continu, il y a donc proportionnalité entre le déplacement de la membrane (x) et l'intensité du courant électrique (i) qui circule dans la bobine.

Les auteurs de programme demandent d'extraire expérimentalement du HP réel le modèle «physique» $F = k.i$. Cette expérimentation suppose que l'on passe sous silence, en la neutralisant, l'élasticité de la membrane, propriété tout aussi fondamentale pour le fonctionnement du HP que la force de Laplace.

Si l'on peut admettre de façon générale (Deforge, 1985) que le principe d'un objet technique est «*le principal phénomène physico-chimique mis en oeuvre dans l'objet*» et que ce principe (Fourez et al, 1993) «*réduit le phénomène*» et «*n'en explique pas la totalité*», il faut reconnaître, qu'en courant continu, le HP a deux phénomènes principaux antagonistes agissant sur la membrane : la force électromagnétique, et l'élasticité de la suspension de la membrane.

Privilégier l'étude du phénomène de Laplace, c'est adopter une vision réductionniste au sens de Morin en considérant un système, de façon analytique, comme un ensemble de parties. Morin affirme avec force (Morin, 1981, p. 123) «*Ni la description, ni l'explication d'un système ne peuvent s'effectuer au niveau des parties, conçues comme entités isolées, liées seulement par actions et réactions*». Ces propos sont fondamentaux pour ce qui concerne le HP car, associer force de Laplace à force élastique antagoniste, conduit à un tout qui dépasse les parties : l'équilibre à deux forces. Le modèle réductionniste $F = k.i$, établi en courant continu sur une partie du HP est incapable d'interpréter, à lui seul, la proportionnalité entre le déplacement x de la membrane et l'intensité i . Il est évidemment encore plus incapable d'expliquer le comportement du HP en courant alternatif.

Ces savoirs à enseigner ne peuvent que conduire à une double difficulté dans leur mise en oeuvre :

- établir $F = k.i$ en courant continu avec le HP réel comme dispositif expérimental ;

- utiliser $F = k.i$ comme seul outil d'interprétation du comportement du HP en continu et en alternatif. L'analyse des séquences mettra en lumière cette double difficulté.

3. LE CADRE THÉORIQUE, LES QUESTIONS, LES MATÉRIAUX DE L'ÉTUDE

3.1. Le cadre théorique : les systèmes, les modèles, le schéma de la modélisation

Les instructions prescrivent l'étude de la fonction transducteur du HP. Il s'agit, selon la «*vision fonctionnelle de la modélisation*» au sens de Le Moigne (1994, p. 43) «*de le percevoir d'abord globalement dans sa relation fonctionnelle avec son environnement*» (Le Moigne, 1994, p. 65), ce que l'objet fait. L'objet est conçu comme un système, une boîte noire ; son entrée est commandée par un courant électrique ; sa sortie, la membrane émet des vibrations acoustiques. La bande passante rend compte du comportement entrée-sortie du système.

Les instructions prescrivent aussi l'analyse de la structure interne du HP. Celle-ci s'inscrit dans le cadre de la vision «*organique*» de la modélisation, «*ce que l'objet est*» (Le Moigne, 1994, p. 65).

Les programmes recommandent enfin d'établir la relation $F = k.i$; cette relation est aussi un modèle «*représentation mathématique d'un système réel*» (Walliser, 1977, p. 115)² : le dispositif expérimental. La grandeur d'entrée est l'intensité électrique, la grandeur de sortie, la force. La constante k est un paramètre du modèle expérimental. La démarche proposée est une «*modélisation expérimentale*» (Trigeassou & Beaufils, 1991, pp. 297-298) qui débouche sur l'établissement du modèle expérimental $F = k.i$ et le calcul du paramètre k .

Ainsi, l'essentiel des savoirs enseignés propres à ce thème devront résulter d'activités de modélisation d'objets d'étude considérés en tant que systèmes. Les travaux sur les systèmes et leurs modèles sont par conséquent une référence théorique pour notre étude, et plus spécialement les travaux de Martinand (1992, 1994) car ils sont étroitement liés aux activités d'enseignement et d'apprentissage de la modélisation en sciences.

Martinand a élaboré un schéma de modélisation, outil de questionnement, d'observation et d'analyse des démarches de modélisation en sciences. Ce schéma, représentant un moment d'un curriculum (figure 1), fait apparaître deux grands registres³ : celui du référent empirique, et celui du modèle. Le registre du référent empirique est celui des objets utilisés et

2 Pour Walliser, «*dans sa définition la plus large la notion de modèle recouvre toute représentation d'un système réel, qu'elle soit mentale ou physique exprimée sous forme verbale graphique ou mathématique.*»

3 Martinand a enrichi le schéma figure 1 d'un troisième registre, celui de la matrice cognitive (Martinand, 1994).

de leurs conditions d'utilisation (phénoménotechnique), de la description des phénomènes (phénoménographie). Le registre du modèle est celui de la représentation du référent empirique. Entre les deux registres, le schéma développe la phase de modélisation (construction du modèle) et des phases d'application du modèle ou de simulation avec le modèle conduisant à une description savante du référent empirique : la phénoménologie.

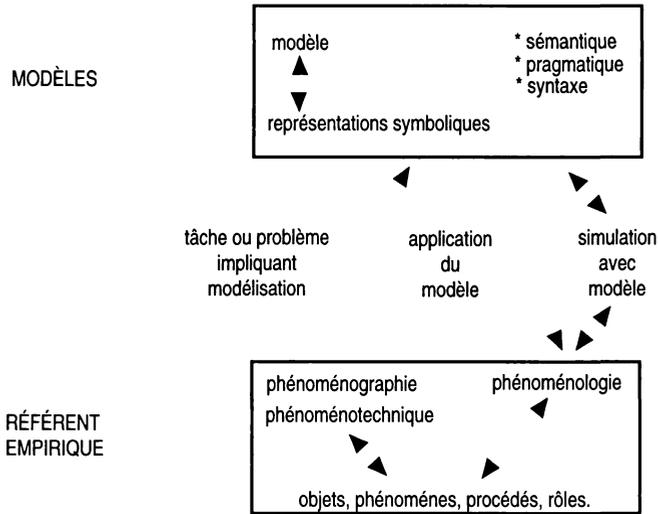


Figure 1 : Le schéma de la modélisation de Martinand

3.2. Le questionnement sur les séquences

Le schéma de modélisation ainsi décrit permet de formuler *a priori*, sur les séquences de travaux pratiques que nous avons enregistrées, les interrogations suivantes :

- peut-on discerner des étapes au sein de ces séquences, si oui, quels en sont les descripteurs ?
- au sein de ces étapes, dans le registre du référent empirique, quels sont les objets « manipulés » par les élèves ou le professeur ?
- quelles sont les connaissances phénoménographiques-phénoménotechniques mises en jeu lors de l'expérimentation sur ces mêmes objets ?
- est-ce que les tâches proposées par l'enseignant correspondent à des problèmes explicites pour les élèves ?

- comment est conduite la modélisation expérimentale $F = k.i$?
- quelle est la place du modèle expérimental $F = k.i$ dans l'explication du principe de fonctionnement du HP ? (Application du modèle selon le schéma de la modélisation figure 1).

3.3. Les matériaux sur lesquels porte l'étude

Nous postulons que la séance de travaux pratiques imposée par les textes pour établir $F = k.i$ doit être suffisamment riche, tout en étant limitée dans le temps, pour refléter la façon dont l'enseignant de physique a conçu l'articulation entre l'étude du phénomène et celle de l'objet haut-parleur. Nous avons donc procédé, au cours de l'année scolaire 1994-1995, à l'enregistrement vidéo de **neuf séances de travaux pratiques (TP) de 1h 30 dans des classes de seconde**, portant sur le thème $F = k.i$. Ces enregistrements ont été effectués dans huit établissements différents répartis sur quatre villes. Lors de chaque enregistrement, nous avons porté notre attention sur l'activité globale de la classe, et sur le fonctionnement d'un ou deux binômes en phase d'expérimentation. Nous avons aussi porté la caméra sur le matériel installé «au bureau» et sur les paillasse des élèves, ainsi que sur l'utilisation de ce matériel par les différents acteurs de la séquence. Nous avons ainsi volontairement orienté l'étude vers l'analyse de séquences, de même durée limitée, animées par des professeurs multiples et différents. Notre but a été de chercher et valider plus solidement les invariants dans les pratiques, mais aussi de découvrir des cheminements originaux. Ce faisant, nous nous sommes volontairement privés de l'histoire didactique de ces contenus enseignés. Les conclusions de l'étude se réfèrent aux seuls matériaux dont nous disposons : les enregistrements vidéo des neuf séquences.

4. ANALYSE ET DESCRIPTION DES SÉQUENCES

4.1. Les étapes que l'on peut recenser dans les différentes séquences en rapport avec les systèmes et dispositifs expérimentaux utilisés

4.1.1. Inventaire des dispositifs expérimentaux rencontrés

Qu'ils soient installés sur la paillasse du professeur ou sur les tables de travaux pratiques des élèves, tous ces dispositifs ont en commun d'être le support du même phénomène principe moteur que celui du HP : la force

de Laplace. Ces dispositifs évoluent entre «*l'objet concret*» au sens de Deforge (1985) et Simondon (1989) : le HP lui-même et ses modèles physiques, systèmes composites, représentations physiques du HP au sens de Walliser (1977). Nous avons rencontré deux types de modèles physiques : les maquettes d'une part et, d'autre part, les montages réalisés avec les objets des collections de laboratoires de physique et que Scache (1986, 1993) dénomme les «*objets expérimentaux*».

Nous avons recensé, sur les neuf séquences, cinq ensembles de dispositifs : les HP, les maquettes de HP, les systèmes bobine-aimant, les systèmes fil rectiligne-aimant, le système tubes à électrons-aimant.

a) *Les hauts-parleurs*

Le haut-parleur, objet, est physiquement absent dans trois des neuf séances de TP. Dans trois séquences, il ne figure que sous une ou deux unités, le plus souvent démonté, pour en décrire, nommer, schématiser les principaux organes internes. Dans les trois autres séquences, il est étudié en régime électrique alternatif.

Dans une seule séquence (1)⁴ il sert de dispositif pour la modélisation quantitative $F = k.i$ et la modélisation de la réponse en fréquence.

Il n'y a aucune explication du fonctionnement alternatif de sa membrane dans trois séquences (2, 8, 9). Deux séances de TP (3, 7) débutent directement par l'étude du HP.

b) *Les maquettes de haut-parleur.*

Ces maquettes possèdent les trois organes du HP : la bobine, l'aimant, la membrane. Elles sont donc susceptibles de fonctionner comme sources sonores. Elles sont construites et commercialisées à des seules fins pédagogiques par deux fournisseurs en matériel de laboratoire que nous nommerons A et B.

La maquette A permet, par une méthode d'équilibre entre le poids d'une masse marquée mise sur la membrane et la force magnétique antagoniste, de mesurer cette force et d'établir $F = k.i$. Dans trois des neuf séquences (4, 5, 6) les élèves en binômes ont ainsi opéré.

La maquette B, présente dans quatre séquences (4, 5, 6, 7), transparente et projetable, permet de montrer l'agencement, la forme des organes du HP et le mouvement en basse fréquence de la membrane. Elle émet un son aux fréquences audibles et simule ainsi le fonctionnement du HP. La maquette B a été ainsi utilisée dans les mêmes séquences que la maquette A, en expérience unique projetée sur écran. Dans une autre classe (7), le professeur s'est servi de cet objet alimenté en courant continu,

4 Les nombres entre parenthèses désignent les séquences correspondantes.

pour établir le modèle expérimental $d = a.i$ qui exprime la linéarité entre le déplacement de la membrane et l'intensité du courant i . Ce modèle est cohérent avec le fonctionnement de l'objet et il ne figure évidemment pas dans les recommandations curriculaires.

c) Les systèmes bobine-aimant.

Dans ces dispositifs, la membrane est absente⁵. Il s'agit de bobines fabriquées avec du fil émaillé, ou de bobines de collection de laboratoires (bobines A dites de flux maximal, ou bobines de transformateur démontable). Quant aux aimants, il s'agit des classiques barreaux aimantés ou aimants en U. Nous avons recensé ces dispositifs dans huit séances de TP. Ils ont été introduits par le professeur, le plus souvent après une expérience au bureau, de présentation du phénomène à l'aide du fil de Laplace. Ce matériel constitue, en raison de l'absence de la membrane, un système, modèle du HP, **intermédiaire** entre le HP ou ses maquettes et le système fil-aimant. Comme dispositif charnière, il permet d'atteindre des objectifs multiples.

- Introduire le phénomène de Laplace en courant continu.

L'expérience est faite au bureau, par le professeur. Ainsi en est-il dans les séquences 3 et 4.

- Généraliser la mise en évidence du phénomène en courant continu.

La démarche est identique à celle décrite précédemment, le phénomène ayant été introduit par l'expérience du fil de Laplace (1, 5, 6, 8, 9).

- Etablir le modèle expérimental $F = k.i$.

Ce système a servi de support à l'établissement de la loi $F = k.i$ dans quatre séquences (2, 3, 8, 9). Les élèves, le plus souvent en binômes, effectuent les mesures de forces et d'intensités électriques. Les dispositifs pour la mesure de la force de Laplace sont variés :

– la bobine est équilibrée par des masses marquées, bobine et masses sont suspendues à deux brins verticaux de part et d'autre d'une poulie mobile dont l'axe est fixe ;

– la bobine est posée sur une balance Roberval ou sur une balance électronique ; les élèves calculant la correspondance masse lue/force ;

– la bobine est suspendue à un dynamomètre ce qui permet de «voir» l'effet de l'aimant sur la bobine et de mesurer directement la force avec son unité légale d'intensité, le newton.

⁵ Dans certaines séquences, les propriétés élastiques de la membrane ont été obtenues en suspendant la bobine à un ressort ou à un dynamomètre.

- Visualiser le comportement du phénomène en courant alternatif.

La bobine est suspendue à un ressort. Elle est alimentée par un GBF (Générateur Basses Fréquences), à très basse fréquence. Les élèves découvrent que si la tension d'alimentation est alternative, le mouvement de la bobine l'est aussi et que l'amplitude du mouvement croît avec celle de la tension électrique appliquée.

- Introduire les liaisons avec d'autres dispositifs et des simulations du HP.

Il ressort de l'analyse des séquences que les professeurs ont privilégié l'étude du système bobine-aimant pour établir des liaisons avec l'étude d'autres dispositifs pour lesquels ils font comparer aux élèves, de façon analogique, les organes, les signaux d'entrée et les signaux de sortie.

d) Les systèmes fil rectiligne-aimant

L'ensemble fil rectiligne-aimant modélise encore plus les organes moteurs du HP. Nous avons relevé, parmi les conducteurs, le fil de Laplace vertical suspendu à une potence et la tige métallique susceptible de rouler sur les rails dits de Laplace. Comme précédemment, les aimants sont de type barreau ou aimant en U. Contrairement aux indications des programmes, nous n'avons pas rencontré de balance de Cotton.

Les séances de TP débutent fréquemment par la description ou l'évocation d'un dispositif de type fil-aimant. Sans lien clairement affirmé avec le HP, le professeur montre une expérience directe au bureau (1, 2, 6), ou la rappelle (5, 9). La fonction pédagogique des systèmes fil-aimant la plus souvent rencontrée est d'introduire le phénomène et son interprétation en termes de force ; de développer les aspects qualitatifs du phénomène mettant en relation le sens de la force avec celui du courant ou celui du champ magnétique B. Dans la séquence 7, cette analyse qualitative en signal continu sert de support à une interprétation analogique du mouvement de la membrane de la maquette B alimentée en courant alternatif. Le professeur développe ainsi le schéma explicatif : *«Lorsqu'on applique une tension variable, un courant variable passe dans la bobine. Quand on a fait les rails de Laplace, on a vu que quand on changeait le sens du courant, la tige, son déplacement changeait de sens. Un courant variable va changer de sens. Chaque fois que le courant change de sens, le déplacement de la membrane change de sens, c'est pourquoi elle se déplace alternativement à gauche, à droite, à gauche, à droite»*. Cette forme de raisonnement sera analysée au paragraphe 4.3.2.

Les dispositifs fil rectiligne – aimant n'ont fait l'objet d'aucune étude en courant alternatif. De plus, ils n'ont pas été retenus pour établir la loi $F = k.i$, contrairement aux recommandations des instructions officielles.

e) Le système tube à électrons- aimant.

Ce système, recensé dans une séquence, installé sur la paillasse du professeur, n'a été ni décrit ni utilisé.

4.1.2. L'alimentation électrique des dispositifs utilisés

Dans le déroulement des séquences, nous avons relevé trois types d'activités en rapport avec l'alimentation électrique des dispositifs répertoriés précédemment.

a) Les activités sur des dispositifs non alimentés

Avant d'être alimenté, le dispositif monté au bureau est décrit par le professeur. Le dispositif est testé sans passage de courant : l'aimant est mis près du fil de Laplace lorsque le circuit est ouvert.

b) Les activités sur des dispositifs alimentés en courant continu

Le comportement du dispositif est analysé en fonction du sens du courant, de la croissance ou décroissance de i , des mesures respectives de i , F , ou du déplacement de la bobine.

c) Les activités sur des dispositifs alimentés en courant alternatif

Le dispositif est alimenté par des signaux alternatifs, le plus souvent à l'aide d'un générateur de basses fréquences. Le comportement du dispositif est analysé, de façon qualitative et quantitative, en fonction de la variation de la fréquence, de l'amplitude, de la nature (sinusoïdal, triangle, carré) du courant d'alimentation.

4.1.3. Le repérage des étapes

En ayant comme préoccupation les systèmes et dispositifs étudiés, nous avons pu repérer, au sein de toutes les séances de TP analysées, un certain nombre d'étapes successives. La séquence 5 proposée à titre d'exemple (figure 2), montre une succession de 7 étapes, de l'étape 0, celle du début, à l'étape 6 de fin. Chaque étape se différencie de ses voisines selon deux modes :

– on change de dispositif expérimental en conservant le même type de courant d'entrée (dans les étapes 3 et 5, figure 2, le dispositif bobine-aimant-ressort et la maquette B sont étudiés en courant alternatif) ;

– on conserve le même dispositif, mais on l'alimente «au niveau de l'entrée» avec des courants de natures différentes (tel est le cas des étapes 1, 2, 3, figure 2, où le système bobine-aimant-ressort sert de support à des activités sans courant, puis en courant continu, et enfin en courant alternatif).

En conséquence, chaque étape peut être caractérisée par des activités du professeur «au bureau» (étapes 0 à 5), ou des élèves en binômes (étape 6), **centrées sur un dispositif expérimental**, système porteur du phénomène, ayant **un type de signal en entrée**. L'étape 2, par exemple, traite du comportement du système bobine-aimant-ressort alimenté en courant continu.

Toutes les séquences présentent donc des étapes identifiables par deux critères communs : le dispositif et son signal d'entrée. Nous avons représenté (figure 2) toutes les étapes de la séquence 5. Chaque étape, matérialisée par une case, est repérée par ses deux coordonnées : nature de courant et de dispositif. Les nombres 1, 2, 3... et les flèches indiquent l'ordre de succession des étapes. Les temps en minutes signalent la durée de chaque étape. A l'intérieur de chaque case, nous avons fait figurer une description des activités de l'étape. Nous avons représenté (annexe 1) toutes les étapes de chacune des neuf séquences. Chaque case est repérée en abscisse par la nature du signal d'entrée et en ordonnée par le système étudié. Au sein de chaque case nous avons fait figurer la durée et l'ordre de succession des étapes (nombres 1, 2...) Les étapes 0 consistent en des rappels relatifs à la séquence précédente. La durée des étapes est très variable, de quelques minutes (les premières étapes le plus souvent), à près d'une heure (la dernière étape assez souvent).

4.2. Analyse interne de chaque étape avec les éléments du schéma de la modélisation

4.2.1. *Les connaissances phénoménographiques et phénoménotechniques*

En explorant les étapes de la séquence 5 (figure 2), on découvre que les activités des élèves et du professeur débouchent sur des connaissances empiriques relatives aux dispositifs expérimentaux et au phénomène de Laplace. Elles sont désignées par les termes phénoménographie et phénoménotechnique dans le schéma de Martinand. Le schéma de la modélisation distingue la phénoménographie qui est une lecture première du phénomène de la phénoménologie qui est une lecture seconde (par modèle interposé).

a) La phénoménotechnique

Ces connaissances portent sur les dispositifs expérimentaux et sur le HP. Il s'agit des savoirs et savoir-faire attachés aux conditions de mise en évidence du phénomène en courant continu et en courant alternatif (agencement des éléments du dispositif et nécessité d'un courant) ; aux

FIL A	<p>0 <i>0,5 min</i></p> <p>Rappel oral, de l'expérience des rails de Laplace faite la séance précédente et des conditions d'existence de la force électromagnétique.</p>		
BOB	<p style="text-align: center;">▼</p> <p>1 <i>1 min</i></p> <p>Description d'un montage au bureau : bobine A suspendue à un ressort alimentée en continu et placée entre les pôles d'un aimant en U.</p>	<p>▶ 2 <i>2,5 min</i></p> <p>Alimentation de la bobine en continu. Redécouverte du phénomène. (Il avait été mis en évidence la fois précédente) Rappel de la force électromagnétique. Etude du phénomène en continu : - accroissement de i, effet sur le déplacement de la bobine et sur F. - changement du sens de i, effets sur F et le déplacement de la bobine.</p>	<p>▶ 3 <i>2 min</i></p> <p>Alimentation de la bobine par un GBF en très basse fréquence. Mise en évidence du mouvement alternatif de la bobine. Etude qualitative du comportement de la bobine alimentée en alternatif : - effet de l'accroissement de la fréquence du courant sur la bobine. - effet de la variation de l'intensité sur le mouvement de la bobine.</p>
MAQ	<p style="text-align: center;">▼</p> <p>4 <i>1 min</i></p> <p>Description et schématisation des organes de la maquette transparente B projetée au tableau. Hypothèse sur l'objet modélisé par la maquette.</p>	<p>6 <i>54 min</i> ◀</p> <p>Description du montage quantitatif pour modéliser $F = k.i$ à partir de la maquette A, conseils de montage. Réalisation du montage par les élèves en binômes. Charge du HP par différentes masses et mesure des intensités correspondantes. Calcul de F. Tracé des points expérimentaux F, i.</p>	<p>5 <i>2 min</i></p> <p>Alimentation de la maquette par un GBF en très basse fréquence. Mise en évidence du mouvement de la bobine de la maquette. Explication du mouvement par comparaison avec celui du système aimant-bobine-ressort. Accroissement de la fréquence du GBF et obtention d'un son par la maquette.</p> <p style="text-align: center;">▲</p>
HAUT			
	i = 0	I CONTINU = + OU -	I ALTERNATIF

Figure 2 : Les différentes étapes de la séquence 5

réglages nécessaires pour faire varier les facteurs agissant sur le phénomène ; aux appareils nécessaires pour prélever les mesures (savoir-faire de montage et de lecture). Il s'agit aussi des savoirs et savoir-faire attachés au HP lui-même et à sa mise en œuvre dans les montages : connaissance des organes internes principaux, des conditions de montage pour la sécurité de son fonctionnement, des méthodes de prélèvement de mesures. On retrouve ces connaissances dans toutes les étapes de la séquence 5.

b) La phénoménographie

Ces connaissances décrivent qualitativement et quantitativement le phénomène et le fonctionnement du HP, avant toute modélisation expérimentale. Les connaissances associées au phénomène rendent compte de ses comportements qualitatif et quantitatif. Béguin et al. (1994, 1995) utilisent le terme de «*représentation*» du phénomène, précédant sa modélisation, pour «*toute description raisonnée et pour toute tentative de structuration de l'expérience sensible*». Les connaissances qualitatives décrivent les facteurs qui agissent sur le phénomène et dans quel sens. Dans l'étape 3 de la séquence 5, le professeur montre expérimentalement et décrit oralement l'effet de l'accroissement de l'amplitude et de la fréquence du courant i sur les caractéristiques du mouvement de la bobine alimentée en courant alternatif.

Les connaissances quantitatives décrivent le phénomène sous forme de tableaux de mesures et de points expérimentaux saisis sur un système d'axes : ce sont les «*représentations numériques et graphiques*» de Béguin et al. (1994).

Pour le HP et les maquettes, il s'agit des descriptions qualitatives et quantitatives de leur fonctionnement entrée-sortie comme émetteurs sonores. Dans la séquence 5 (étape 5), le professeur a analysé le comportement de la maquette B à basse fréquence et aux fréquences sonores. Nous montrerons dans le paragraphe 4.3., à propos de la séquence 5, que les explications du principe du HP reposent exclusivement sur les liens entre les phénoménographies de deux étapes.

4.2.2. La problématisation des activités de modélisation

De façon quasi générale, la problématisation des savoirs à enseigner mis en scène dans les séquences observées n'est pas clairement explicitée aux élèves. Toutes les connaissances liées à la description et à l'analyse du phénomène résultent d'expériences de «*monstration*» d'un phénomène nouveau (Johsua & Dupin, 1993, pp. 206-209). Elles sont faites par le professeur, au bureau, en début de séance, (séquences 1, 2, 4, 5, 6) et se succèdent avec des durées très courtes (cinq étapes en neuf minutes pour

la séquence 5). Le lien avec le HP⁶, qui devrait être le moteur de la recherche sur le phénomène, est le plus souvent implicite. Les élèves spectateurs sont censés observer, répondre aux questions de l'enseignant, noter schémas et conclusions. C'est aussi le professeur qui change de dispositif ou de type de courant et change d'étape, sans justification explicite. Le professeur 5 amorce la transition entre les étapes 2 et 3 en déclarant : «*Maintenant je vais envoyer dans cette bobine non plus une tension continue dans un sens ou dans l'autre, mais une tension variable alternative*», puis il fait le montage électrique. Lors du changement de dispositif expérimental, les comparaisons entre leurs organes respectifs sont rarement effectuées. Nous avons représenté ces comparaisons par une double flèche, au niveau des schémas des dispositifs, entre les plans de modélisation. C'est aussi le professeur qui établit le lien, quand il existe, entre les phénoménographies des étapes successives. On peut penser que la problématique de cette partie est «dans la tête» du professeur ; qu'en est-il «dans la tête» des élèves ? Dans le temps réservé à l'établissement de $F = k.i$, la problématique, (chercher à établir le lien entre F et i), est le plus souvent énoncée par le professeur. Le point de vue des élèves sur la nature de cette relation, avant expérience, n'a jamais été exploré.

4.2.3. La modélisation expérimentale quantitative $F = k.i$

Les aspects quantitatifs du phénomène sont conduits, pour huit des neuf séquences, sous forme d'activités expérimentales des élèves en binômes. Le protocole est proposé par le professeur, les élèves ayant à monter le dispositif, faire varier et noter par écrit les valeurs des mesures, tracer les points expérimentaux, tracer la droite modèle, énoncer collectivement avec l'aide du professeur, l'équation-relation : $F = k.i$, calculer k , ce qui est l'aboutissement de cinq séquences. Les dispositifs utilisés pour une telle modélisation sont : le HP pour la séquence 1 seulement (les textes recommandaient l'utilisation de deux dispositifs dont le HP lui-même), le système bobine-aimant pour les séquences 2, 3, 4, 8, 9, la maquette A pour les séquences 5 et 6. Relativement aux durées des enregistrements, le modèle $F = k.i$, une fois construit, n'a jamais été appliqué, qu'il s'agisse d'interpréter le fonctionnement du HP, ou de tout autre référent comme le moteur électrique par exemple.

Le temps consacré à l'établissement de ce modèle est considérable ; il varie de 43 à 69 minutes. Pourquoi les professeurs consacrent-ils autant de temps à une telle activité, alors que le temps imparti aux aspects qualitatifs est limité à quelques minutes, et que celui réservé à l'explication du fonctionnement du HP fait cruellement défaut ?

6 Les résultats d'un questionnaire sur le HP, avant enseignement, montrent qu'une très grande majorité d'élèves de seconde ignore les organes internes et le principe de cet objet.

- Nous proposons les hypothèses explicatives suivantes : les professeurs
- savent conduire la démarche d'établissement d'un modèle expérimental ;
 - ne maîtrisent pas les démarches relatives à l'étude d'un objet technique de la vie quotidienne ;
 - ne peuvent pas appliquer le modèle $F = k.i$ au contexte du fonctionnement du HP ;
 - ont leur épistémologie de la physique (le HP c'est accessoire, voire ce n'est pas de la physique, $F = k.i$ persistera même si la technologie des HP change) ;
 - retrouvent des «*scénarios conceptuels*» (Fillon, 1995, p. 16), coutumes pédagogiques classiques de l'enseignement des sciences physiques au lycée pour lesquelles les expériences de monstration, les protocoles, les conclusions relèvent de tâches du professeur, alors que les tâches les moins nobles d'exécution de montages, mesures, tracés, calculs relèvent des élèves et ils doivent y consacrer le temps nécessaire ;
 - sont soumis aux contraintes de l'évaluation ; $F = k.i$ peut donner lieu à des exercices graphiques et numériques classiques de ce niveau d'enseignement.

Le travail conduit ne nous permet pas de trancher entre les diverses hypothèses mais d'autres chemins sont possibles.

La démarche différente empruntée dans la séquence 7 (*annexe 2*) illustre un autre chemin. L'expérience quantitative (étape 7) est conduite en groupe classe, dans un temps plus modeste (21 minutes). Le dispositif utilisé est la maquette transparente B montée par le professeur et projetée au tableau. Le professeur fait varier l'intensité i ; un élève lit le déplacement d du «cône membrane». Les élèves effectuent le tracé des points expérimentaux et de la droite modèle. La conclusion collective débouche sur la relation mathématique $d = a.i$. (Notations du professeur 5. Il s'agit de la modélisation du comportement en continu de la maquette lié aux deux phénomènes associés : Laplace et élasticité de la membrane.) Le professeur conduit ses élèves à **déduire**, de $d = a.i$, le modèle $F = k.i$, selon le cheminement : d est proportionnel à F (proposition du professeur admise par les élèves), d est proportionnel à i , donc F est proportionnelle à i (proposition énoncée par un élève).

En fin de séquence, le professeur éclaire et interprète, en faisant «parler implicitement» le modèle $d = a.i$. La conclusion écrite au tableau rend compte de la démarche. «*Les vibrations de la membrane étant responsables de l'émission du son, on en déduit donc que les caractéristiques*

du son (hauteur, intensité) sont liées⁷ aux caractéristiques de l'intensité du courant dans la bobine, donc de la tension appliquée aux bornes du HP (fréquence, amplitude)».

Dans ce cheminement original, il est aisé de prélever les mesures de d et I sur la maquette, pour établir $d = a.i$. Parallèlement, il est tout aussi aisé d'appliquer ce modèle au contexte du fonctionnement du HP, voire d'en apercevoir les limites. Un modèle «hors la loi du prescrit» est plus cohérent que le modèle officiel.

4.3. Comment a-t-on expliqué le fonctionnement du HP ? Les liaisons entre les différentes étapes

Il ressort des textes curriculaires trois niveaux d'explication souhaités :

- quelle est l'origine du mouvement de la membrane ?
- pourquoi une tension alternative produit-elle un déplacement alternatif de la membrane ?
- pourquoi la fréquence de la membrane est-elle la même que celle du signal électrique et son amplitude de vibration croît-elle avec celle du signal ?

Qu'en est-il dans les contextes de classe enregistrés ?

4.3.1. L'origine du mouvement de la membrane

Dans toutes les séquences, le phénomène de Laplace a été montré ou rappelé et décrit en continu, sur des dispositifs «*objets scientifiques*» (Scache, 1986, 1993) prototypiques des laboratoires de sciences physiques : fil ou rails de Laplace/aimant, ou bobine-aimant. Il faut aussi rappeler que dans les séquences 2, 5, 9, le HP était absent de la salle de TP.

4.3.2. L'interprétation des propriétés caractéristiques du HP fonctionnant en émetteur sonore

Dans les séquences 2, 8, 9, il n'y a pas eu d'étude de dispositif fonctionnant en alternatif. Seule l'influence du sens du courant sur le sens de F a été montrée à l'aide d'un dispositif, objet scientifique, sans lien explicite avec le fonctionnement du HP.

7 Le lien ne peut être déduit que de $d = a.i$, le terme de force est absent du libellé, $F = k.i$ n'entre pas dans la chaîne de déductions du texte de conclusion.

L'analyse de la séquence 5 nous a permis de mettre à jour trois stratégies d'explication : deux formes de raisonnement systémique qualitatifs et la simulation d'un système par un autre.

a) Première forme de raisonnement systémique : l'analogie entre les phénoménographies de deux étapes différentes

Le cheminement est le suivant : les deux dispositifs sont analogues, l'un est la source (fil-aimant par exemple), l'autre la cible (bobine-aimant). La cible a des organes analogues à ceux de la source (aimant/aimant et fil/bobine). La cible et la source sont alimentées par des signaux d'entrée simples et identiques. Alors les comportements de sortie sont de même nature en force et en déplacement.

Voici comment procède le professeur 5 au début de sa séquence. Il commence par décrire le système : une bobine horizontale suspendue à un dynamomètre, un aimant en U vertical fixe, ainsi que le circuit d'alimentation en continu de la bobine (générateur, potentiomètre de réglage, ampèremètre à zéro central, interrupteur à bouton poussoir). Tout ce matériel est installé au bureau. Ensuite le professeur alimente la bobine et fait constater aux élèves : *«la bobine se déplace vers le bas»*. Puis il avance l'interprétation suivante : *«c'est tout à fait normal... à une intensité... la bobine se trouvant au voisinage d'un aimant, apparaît une force électromagnétique et un déplacement de la bobine»*. Ensuite le professeur change le sens du courant dans la bobine. Il fait constater aux élèves et écrit au tableau le complément de phénoménographie : *«i change de sens déplacement change de sens»*, il interprète de façon analogique par : *«on avait vu ça aussi avec la tige métallique, si le sens du courant change, le déplacement ou la force va s'exercer dans l'autre sens»*. Nous dirons qu'une telle forme de raisonnement introduit une liaison analogique entre les phénoménographies de deux étapes.

Dans la séquence 5 le professeur a utilisé trois fois cette forme de raisonnement :

- entre l'étape 0 et l'étape 2, ce que nous venons d'analyser ;
- entre l'étape 2 et l'étape 3 (analogie entre le mouvement oscillatoire d'une bobine suspendue à un ressort et alimentée en alternatif et celui de la même bobine alimentée en continu dans un sens puis dans l'autre) ;
- entre l'étape 3 et l'étape 5 (analogie entre le mouvement de la membrane de la maquette B, alimentée en alternatif, et celui de la bobine d'un système bobine-aimant ressort, alimentée dans les mêmes conditions).

Il semble que le système bobine-aimant, dispositif intermédiaire entre le système fil de Laplace-aimant et le HP, facilite l'établissement de liaisons analogiques inter-étapes. Nous avons relevé des liaisons analogiques

dans les séquences (1, 3, 4, 5, 6, 7). Sur les douze liaisons analogiques recensées, onze concernent le système bobine-aimant. René de Cotret & Larose (1994) et Orange (1994) soulignent et justifient le rôle intermédiaire de certains dispositifs tels que les maquettes. Ils le jugent essentiel pour l'apprentissage des élèves.

Nous devons noter que les séquences (2, 8, 9) sont dépourvues de liaisons analogiques inter-étapes. Et donc aucun rapport explicite, dans la séquence entre le TP et le HP.

b) Deuxième forme de raisonnement systémique : l'analogie entre le sens de variation du signal d'entrée et le sens de variation du signal de sortie d'un même système (le signal de sortie suit le signal d'entrée)

Le mode de raisonnement est le suivant : le professeur fait constater, sur un dispositif, que le signal d'entrée et celui de sortie évoluent dans le même sens ; il généralise ce résultat à l'interprétation de l'évolution du même système pour d'autres formes de signaux. Le professeur 5 (étape 2) poursuit en développant l'étude qualitative du phénomène. Il augmente l'intensité i , fait constater aux élèves et note au tableau : « *i augmente F augmente déplacement plus important* ». Les élèves voient directement l'évolution dans le même sens de l'entrée, via l'aiguille de l'ampèremètre, et de la sortie, via le déplacement de la bobine associée au ressort du dynamomètre. Le professeur alimente (étape 3) le dispositif bobine-aimant ressort en courant alternatif très basse fréquence. Il note au tableau : « *Tension alternative déplacement alternatif* ». La phrase d'interprétation qui suit : « *Donc vous voyez ici, la tension excitatrice varie, positive, négative, (référence analogique à l'étude en continu, dans un sens et dans l'autre, vue précédemment) et bien évidemment, la bobine elle suit* ». Nous dirons que le professeur construit (étape 2) ou applique (étape 3) le modèle «suiveur» quand il établit et utilise cette forme de raisonnement (nous avons repris le terme énoncé par le professeur 5).

c) La simulation d'un système par un autre

Dans la séquence 5, les élèves voient les oscillations de la bobine d'un système bobine-aimant-ressort alimenté en courant alternatif. Ces oscillations simulent celles de la membrane du HP. Ils voient, à basse fréquence, que l'aiguille de l'ampèremètre à 0 central change de sens quand la bobine change de sens de déplacement, que l'aiguille et la bobine ont la même fréquence, que l'amplitude du mouvement de la bobine croît avec celle de l'aiguille. La simulation par un modèle physique et transparent de l'objet renforce le schéma explicatif analogique précédent. Les simulations introduisent des liaisons inter-étapes entre les dispositifs.

Les simulations du mouvement alternatif de la membrane du HP par un autre dispositif ont été rares. Nous ne les avons recensées que dans deux séquences (3, 5).

Dans la séquence 5, il n'y a aucune liaison entre l'étape 6, étape de modélisation expérimentale, et les étapes antérieures. Il en est de même pour toutes les séquences où $F = k.i$ a été établi. Ceci confirme le pouvoir explicatif limité du modèle $F = k.i$ quant au référent HP. C'est ce pouvoir explicatif limité qui a probablement conduit les professeurs à emprunter les chemins de la simulation et des explications analogiques pour interpréter le fonctionnement du HP. L'analyse de la séquence 7 aurait tendance à le prouver : ces derniers chemins explicatifs y sont peu présents alors que le modèle quantitatif $d = a.i$ est au cœur de l'interprétation du fonctionnement de l'objet.

4.4. Représentation des séquences en plans successifs de modélisation

4.4.1. Le plan de modélisation

En prenant le schéma de la modélisation comme outil de lecture des activités d'une étape, on peut représenter chaque étape par son plan de modélisation. Ainsi le plan de modélisation 6 (figure 3) représente les caractéristiques principales de l'étape 6 (séquence 5).

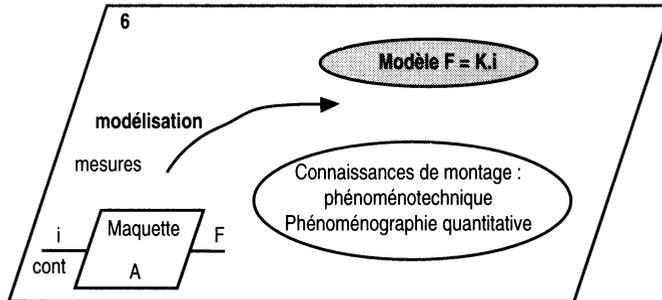


Figure 3 : Le plan de modélisation 6 représente les caractéristiques de l'étape 6 (séquence 5)

Géographiquement «au bas du plan», nous avons fait figurer comme référent empirique la maquette avec son signal d'entrée i continu et son signal de sortie F . Nous avons aussi représenté le domaine des connaissances phénoménotechniques nécessaires au montage du dispositif et à ses réglages. La phénoménotographie quantitative est l'ensemble des données expérimentales : tableau et graphique. Dans le «haut du plan» figure le modèle expérimental établi. La flèche ascendante signale la construction du modèle confronté aux mesures.

4.4.2. Les plans successifs de modélisation (annexe 3)

La séquence 5 perçue comme une succession d'étapes peut être représentée par une succession de plans de modélisation, depuis le plan de début (plan O, «en haut»), jusqu'au plan de fin de séquence (plan 6, «en bas»). Les durées des étapes figurent en regard de chaque plan de modélisation. Les liaisons analogiques entre étapes sont représentées par une flèche à double sens qui relie les phénoménographies des deux étapes. La simulation d'un dispositif par un autre est représentée par une flèche orientée du dispositif simulant vers le dispositif simulé. La flèche à double sens reliant les dispositifs des plans 3 et 4 signale que le professeur a explicitement comparé leurs organes de même fonction. Dans le plan de modélisation 2 le professeur a construit et appliqué la forme de raisonnement analogique entrée-sortie que nous avons appelé modèle «suiveur».

Si on compare les séquences représentées en plans successifs de modélisation, elles se différencient par :

- le nombre de plans de modélisation recensés (de 3 à 8) ;
- la présence ou l'absence de tel ou tel plan de modélisation ;
- l'ordre dans la succession des différents plans présents ;
- le plan de départ et le plan d'arrivée ;
- la succession des activités attachées à chaque plan ;
- la nature et durée de ces activités ;
- l'existence (ou non) de transitions entre les différents plans ;
- l'existence (ou non) de liaisons entre les plans, leur nombre et leur nature ;
- l'application ou non d'un modèle expérimental construit ;
- la présence (ou non) de simulations.

4.5. Le profil des séquences

En prenant comme critères la nature du système, la nature de son signal d'entrée, la nature et le type de réponse analysée en sortie (force ou déplacement de la membrane-son), il est possible de différencier, qualitativement, au sein des séquences observées, deux temps d'études principaux : l'un centré sur le haut-parleur et l'autre centré sur son phénomène moteur associé.

Dans le temps d'étude **centré sur le haut-parleur**, les activités prennent appui sur les dispositifs haut-parleur ou maquette complète, alimentés en courant alternatif. Les plans de modélisation concernés par ce temps sont repérables par les systèmes dont le signal d'entrée est alternatif. L'étude porte essentiellement sur les propriétés du mouvement de la membrane et du son émis.

Pour le temps d'étude **centré sur le phénomène**, les activités prennent comme support les systèmes fil-aimant, bobine-aimant, voire maquettes ou HP, alimentés en courant continu. La réponse traitée étant la force de Laplace. Les plans de modélisation en rapport avec ce temps d'étude sont ceux dont les systèmes ont un signal d'entrée i continu. En analysant les successions des temps d'étude, nous avons dégagé trois profils de déroulement des séquences.

4.5.1. Le profil phénomène physique seul (séquences 2, 8, 9)

Le haut-parleur est absent physiquement de la salle de TP. Les études sont centrées sur les systèmes fil-aimant, bobine-aimant alimentés en courant continu exclusivement.

4.5.2. Le profil phénomène physique, HP, phénomène physique (séquences 1, 5, 6)

Dans ces séquences, il y a alternance entre les deux temps d'étude. Elles débutent par la mise en évidence du phénomène en continu, voire en alternatif, puis vient la préoccupation de l'objet, la découverte de ses organes internes avec ou sans une rapide explication du principe de son fonctionnement, puis retour, et le plus souvent fin, sur les aspects quantitatifs du phénomène en continu à savoir : $F = k.i$.

4.5.3. Le profil HP, phénomène, HP (séquences 3, 4, 7)

Ces séquences débutent par un temps d'étude centré sur le haut-parleur : une description de ses organes internes (3), et/ou un rappel de ses organes (4). Succède à ce temps, celui de la mise en évidence et des analyses qualitative et quantitative du phénomène. Ces trois séances de travaux pratiques prennent fin avec un retour sur le haut-parleur, en ayant le souci d'interpréter et de simuler son comportement en fonctionnement.

Dans la séquence 7, dont nous avons noté la démarche originale, le premier temps est consacré à l'étude de l'objet en fonctionnement. Le second temps est réservé à l'étude du phénomène dont le modèle de comportement $F = k.i$ est **déduit par le calcul** de $d = a.i$. Dans la dernière

partie de la séance, les propriétés qualitatives du haut-parleur en fonctionnement sont interprétées de façon plus complète, en les déduisant du modèle $d = a.i$. Cette démarche en «boucle fermée» (objet, phénomène objet), établit une cohérence entre les savoirs et modèles construits expérimentalement, et leur utilisation, à des fins d'interprétation de propriétés caractéristiques de l'objet technique en situation de fonctionnement réel. Scache (1986) recommande une telle démarche cyclique pour l'enseignement des sciences en Lycée Professionnel (LP) : « *Notre objectif (dans l'article cité) est de montrer que l'objet expérimental sur lequel s'exerce la mesure est indispensable pour accéder à la loi ou au modèle mais que, d'une part, cet objet doit être issu, au LP, d'un objet technique et que, d'autre part, les connaissances acquises doivent permettre de résoudre le problème posé par l'objet technique* ».

4.6. Tableau de synthèse de l'analyse des séquences

LA FORME DES SÉQUENCES

- durée : 1h 30,
- une succession d'étapes : de 3 à 8 selon les séquences,
- chaque étape est caractérisée, quelle que soit la séquence, par des activités d'expérimentation sur un dispositif, alimenté par un type de courant,
- durée des étapes très variée : de 0.5 à 60 minutes,
- changements d'étape à l'initiative du professeur, le plus souvent sans justification explicite,
- peu de liens entre les différentes étapes,
- début de la séquence : le plus souvent, par une expérience de monstration du phénomène à l'aide du fil de Laplace ou d'une bobine ; elle ne débute par l'étude du HP que dans deux séquences,
- fin de la séquence : le plus souvent par l'établissement du modèle expérimental $F = k.i$ et le calcul de k .

LA MISE EN ÉVIDENCE DU PHÉNOMÈNE

- le plus souvent au début de la séquence et sans rapport explicite avec le HP,
- dans les séquences commençant par le HP, le dispositif de mise en évidence du phénomène est articulé aux organes du HP, mais c'est le professeur qui propose ce dispositif.

LA MODÉLISATION EXPÉRIMENTALE

- durée de cette activité conséquente : de 43 à 69 minutes,
- modèle établi : $F = k.i$, le modèle prescrit, dans 8 séquences et, dans 1 séquence, $d = a.i$, le modèle "du professeur",
- dispositif expérimental : le plus souvent, système bobine-aimant ou maquette A, le HP dans une seule séquence,
- application du modèle $F = k.i$: inexistante.

L'INTERPRÉTATION DU FONCTIONNEMENT DU HP

- inexistante dans trois séquences,
- par des raisonnements analogiques et qualitatifs entre systèmes (six séquences),
- par simulation : mouvement d'une bobine suspendue à un ressort alimentée par un GBF (deux séquences),
- par application du modèle $d = a.i$: dans la séquence originale où il a été établi.

LE PROFIL DES SÉQUENCES

Trois profils :

- le profil phénomène physique seul ; pas de référence au HP (trois séquences),
- le profil phénomène, HP, phénomène (trois séquences),
- le profil objet, phénomène, objet (trois séquences).

L'ACTIVITÉ DES ÉLÈVES

Essentiellement en binômes : montage expérimental, relevé des mesures, traitement graphique des données, calcul de k , observation des expériences au bureau et réponse aux questions du professeur.

L'ACTIVITÉ DU PROFESSEUR

Dans les étapes de monstration au bureau il présente, schématise, réalise, met en fonctionnement des montages successifs, questionne les élèves sur les faits observés, formule les conclusions.

Dans l'étape de modélisation expérimentale, il propose le plus souvent le montage, le décrit, donne les consignes aux binômes élèves pour sa réalisation et formule, en synthèse des tracés des élèves, l'expression du modèle expérimental $F = k.i$.

Il fixe, sans justification explicite ni négociation, le changement et l'ordre des étapes.

CONCLUSIONS

Les textes officiels relatifs aux actuels programmes de sciences physiques de seconde des lycées d'enseignement général recommandent de conduire de pair l'étude du haut-parleur et ses fondements physiques. Selon les auteurs de programmes, il faut entendre par fondements physiques le phénomène force de Laplace, ses propriétés qualitatives et son embryon de modèle de comportement $F = k.i$. Dans cette étude, nous avons souhaité en savoir plus sur la façon dont était poursuivi, concrètement, sur le terrain, ce double objectif : l'étude d'un objet dans son fonctionnement courant et celle du phénomène principe moteur associé à cet objet. Nous avons sélectionné dans le programme la séance de TP sur $F = k.i$, car elle est clairement identifiée dans les textes, et autorise les comparaisons. Nous avons privilégié la multiplicité des "acteurs enseignants" sur un même thème limité en temps à 1h 30 pour dégager, dans les parcours curriculaires réels, les invariants, mais aussi les éléments originaux. Ce choix restreint la portée des conclusions de l'étude aux données recueillies. Nous avons ensuite analysé les enregistrements vidéo des neuf séquences à l'aide du schéma de modélisation de Martinand avec deux objectifs : le faire fonctionner pour interroger les séquences, proposer quelques ajustements pour mieux rendre compte des activités propres à ce type de séquence. Les conclusions de cette étude font donc référence à l'analyse des séquences et au schéma de modélisation comme outil.

Le plan de modélisation et la dynamique des séquences

L'étude du phénomène-objet s'appuie sur quatre systèmes techniques modèles physiques du haut-parleur et de même phénomène principe moteur que lui : le haut-parleur, la maquette pédagogique, le système bobine-aimant, le système fil rectiligne-aimant (système scientifique le plus modélisé constitué à partir d'objets propres aux collections des laboratoires de physique).

Chaque système ainsi constitué est alimenté en courant électrique et sa réponse est interprétée-mesurée en termes de force ou de déplacement du conducteur. Nous avons noté trois types d'études selon la nature du signal courant i en entrée : celles à intensité nulle, celles à intensité continue positive ou négative, celles à intensité alternative-variable.

Chaque séquence de travaux pratiques se déroule selon un ensemble d'étapes comportant des tâches de modélisation du phénomène et de l'objet.

Chaque étape de la séquence comporte des activités de modélisation avec comme référent le couple dispositif sur lequel on expérimente/nature du courant d'entrée.

Nous avons été amenés à introduire le concept de plan de modélisation. Il représente le déroulement d'une étape lu avec le schéma de la modélisation de Martinand. Cet outil permet de rendre compte «graphiquement» des activités de modélisation de chaque étape et de l'interroger sur la présence ou l'absence, la nature, le rôle de telle ou telle activité de l'élève ou du professeur. L'ensemble des plans de modélisation traduit graphiquement les caractéristiques de la dynamique de la séquence : nombre de plans, plans présents/absents, ordre de succession, interactions entre plans, présence/absence de tel ou tel temps de modélisation.

Le plan de modélisation est un outil d'investigation, il permet de questionner avec pertinence les séquences sur le HP, peut-être est-il adapté à la description de séquences portant sur l'étude en physique d'autres objets, mais ses limites s'arrêtent aux portes de l'interprétation de curriculums réels.

Le modèle expérimental $F = k.i$, son établissement et son utilisation

En ce qui concerne l'étude du phénomène et le modèle $F = k.i$, le bilan est le suivant :

- l'essentiel du temps, (le plus souvent 50 minutes), est consacré aux activités, en binômes, orientées vers l'établissement de $F = k.i$ et la détermination de k ;

- ce modèle, construit le plus souvent en fin de séance de TP, n'a jamais été utilisé, dans les séquences, ni à propos du HP, ni à propos de tout autre dispositif de même principe moteur que lui. Le manque de temps ne peut être la seule justification. Le domaine d'application du modèle est celui d'une partie du système HP. Il régit l'interaction conducteur-aimant, en termes de courant et de force. On peut penser que le professeur et les élèves feront fonctionner ce modèle dans des exercices numériques formels de calculs de forces, de courants, de constantes k , en prolongement de ce TP ;

- seuls des raisonnements qualitatifs (les liaisons analogiques entre les phénoménographies des systèmes; la variation du signal de sortie suit celle du signal d'entrée) ont servi d'outils pour expliquer, dans quelques séquences, le comportement du HP.

Le modèle $d = a.i$ élaboré expérimentalement dans la séquence 7 est un «bon modèle» : il n'offre pas de difficulté particulière de construction par

la mesure, il rend compte du fonctionnement réel du HP alimenté en signaux alternatifs. On peut même en montrer les limites lors de l'interprétation de la forme de la courbe de bande passante du HP.

L'objet HP et son étude

En ce qui concerne l'objet et son étude, nous avons pu faire les constats suivants :

- il n'est pas ou est peu présent physiquement dans les séances de TP enregistrées ;
- le temps consacré à son étude et à son principe est souvent limité, voire inexistant ;
- lorsqu'on analyse ses organes internes, le lien avec ceux du système étudié en amont et en aval est peu souvent assuré, ce qui appauvrit la problématique des activités ;
- les systèmes sont le plus souvent étudiés en courant continu, ce qui prive les élèves de simulations alternatives de la mécanique motrice du HP et de descriptions phénoménographiques nécessaires à l'établissement de liaisons analogiques.

Les stratégies adoptées par les professeurs pour conduire les deux objectifs du programme

Nous avons noté, au second paragraphe, que les instructions relatives au thème du HP fixaient deux objectifs : présenter le phénomène de Laplace, le modéliser par $F = k.i$, et utiliser ces connaissances pour interpréter le fonctionnement du HP. Nous avons analysé ces instructions et montré qu'elles conduisent à une impasse : il est impossible d'utiliser $F = k.i$ comme seul outil d'interprétation du fonctionnement de cet objet. Comment les professeurs ont-ils géré cette difficulté ?

Ils ont tous consacré une grande partie du temps de la séquence à la présentation du phénomène et à sa modélisation expérimentale « limitée à un facteur » : $F = k.i$ ou $d = a.i$.

Devant l'impossibilité d'utiliser $F = k.i$ comme point de départ d'une démarche explicative du fonctionnement du HP, force est de constater que les professeurs ont adopté des stratégies différentes. Certains se sont réfugiés dans la seule étude du phénomène. D'autres ont tenté, par la multiplication du nombre des étapes, d'introduire et d'utiliser des

raisonnements analogiques inter-étapes, ou de simuler le fonctionnement d'un dispositif par un autre. Enfin un professeur n'a pas hésité à faire construire un modèle expérimental « hors programme » : $d = a.i$. Il a ainsi pu expliquer, au terme de sa séquence, pourquoi le son émis a la même fréquence que la tension électrique d'alimentation du HP et pourquoi le niveau sonore émis par cet objet croît avec celui de sa tension d'alimentation, propriétés que les textes curriculaires de seconde demandent d'interpréter.

Nous tenons à remercier les neuf professeurs de lycée qui nous ont accueilli dans leurs classes.

BIBLIOGRAPHIE

- BÉGUIN C., GURTNER J.L., DE MARCELLUS O., DENZLER M., TRYPHON A., & VITALE B. (1994). Activités de représentation et de modélisation dans une approche exploratoire de la mathématique et des sciences. 1ère partie. Les activités de représentation. *Petit x*, n° 38, pp. 41-71. Revue IREM Université Grenoble.
- BÉGUIN C., GURTNER J.L., DE MARCELLUS O., DENZLER M., TRYPHON A., & VITALE B. (1995). Activités de représentation et de modélisation dans une approche exploratoire de la mathématique et des sciences. 2ème partie. Les activités de modélisation dans le continu. *Petit x*, n°41, pp. 51-82. Revue IREM Université Grenoble.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). *Numéro hors série du 24 Septembre 1992*. Paris, Ministère de l'Éducation nationale.
- DEFORGE Y. (1985). *Technologie et génétique de l'objet industriel*. Paris, Maloine.
- DE LANDSHEERE G. (1979). *Dictionnaire de l'évaluation et de la recherche en éducation*. Paris, PUF.
- FILLON P. (1995). Quelques ruptures et continuités dans l'enseignement de la chimie en troisième et seconde. In «*Actes du 5ème séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques*». IUFM Reims.
- FOUREZ G., ENGLEBERT-LECOMTE V. & MATHY P. (1993). Un modèle pour un travail interdisciplinaire. *Aster*, n°17, pp. 119-142.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, Colin.
- LE MOIGNE J.-L. (1977-1983). *La théorie du système général*. Paris, PUF.
- MARTINAND J.-L. (1992). Présentation in *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP
- MARTINAND J.-L. (1994). Quels enseignements peut-on tirer des travaux dans la perspective du développement de curriculum? In *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP.
- MARTINAND J.-L. (1995). Rudiments d'épistémologie appliquée pour une discipline nouvelle : la technologie. In M. Develay (Collectif), *Savoirs scolaires et didactique des disciplines une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris, ESF.
- MARTINAND J.-L. (1997 à paraître). Introduction à la modélisation. In *Actes du séminaire de didactique du LIREST 1994-1995*. Cachan.
- MORIN E. (1977-1981). *La méthode 1. La Nature de la Nature*. Paris, Seuil.

- ORANGE C. (1994). Les modèles de la mise en relation au fonctionnement. In *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP.
- PERRENOUD P. (1990). Curriculum : le formel, le réel, le caché. In J.Houssaye (Collectif), *La pédagogie une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris, ESF.
- PEREZ J.P. (1995). *Mécanique*. Paris, Masson.
- RENE DE COTRET S. & LAROSE R. (1994). Les analogons et la maquette didactique. *Didaskalia*, n°3, pp. 109-117.
- SCACHE D. (1986). Pour l'introduction d'une composante technologique au lycée professionnel en sciences physiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 680, pp. 409-426.
- SCACHE D. (1993). Référence technique et classe laboratoire de sciences physiques en lycée professionnel. Thèse, Université de Lille.
- SCACHE D., DUPRET C. & BAUDE J.M. (1997). Modélisation électrique des phénomènes acoustiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 792, pp. 391-406.
- SIMONDON G. (1989). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris, Aubier.
- TRIGEASSOU J.C. & BEAUFILS D. (1991). Analyse de données, méthodes numériques et sciences physiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 731, pp. 297-308.
- WALLISER B. (1987). *Systèmes et modèles*. Paris, Seuil.

ANNEXE 1 : Les étapes recensées dans les séquences

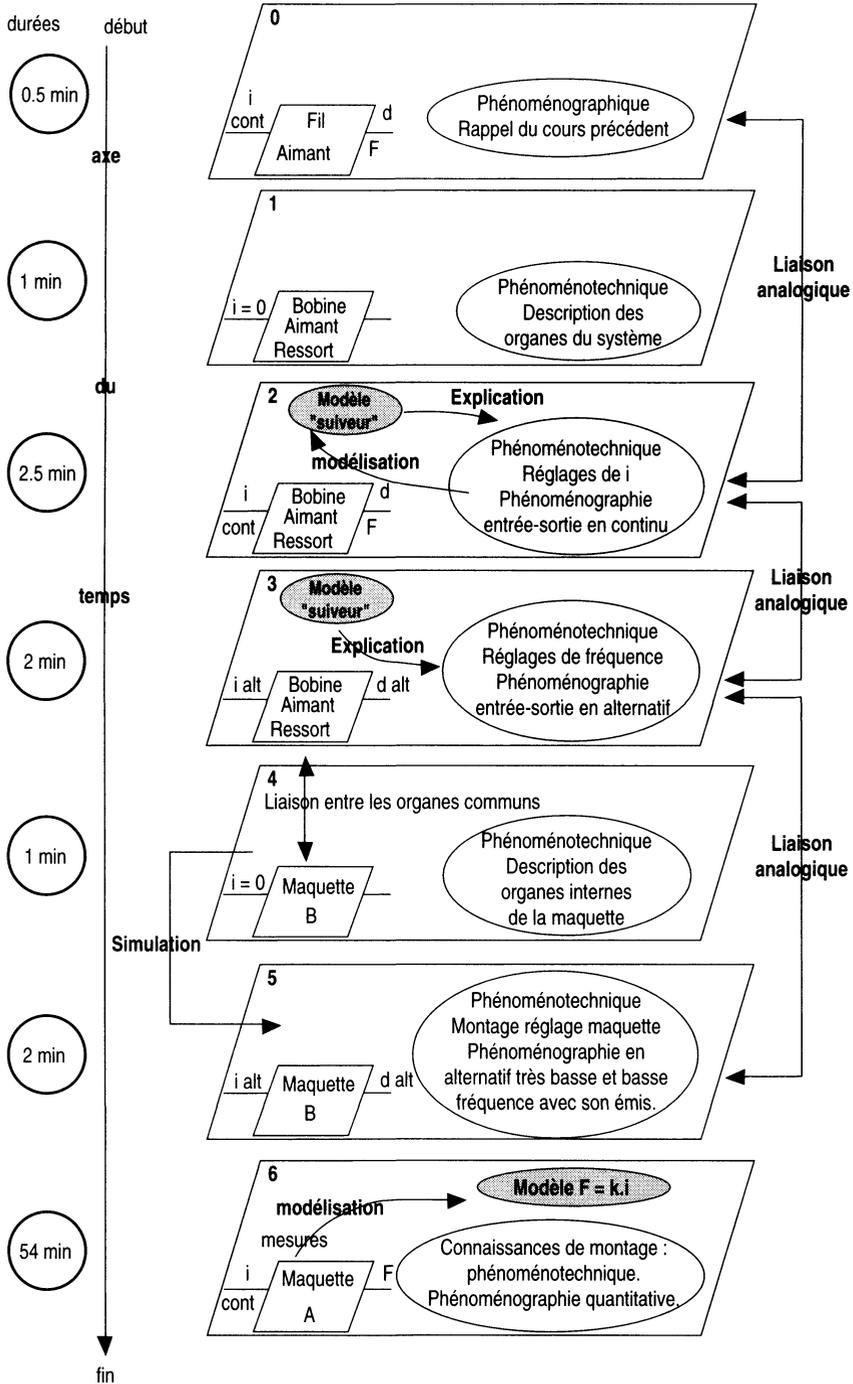
F	1	2		
	1 min	8 min		
	B	3	4	
		1 min	6 min	
M				
	H	5	6	7
9 min		41 min	21 min	
I = 0		I cont	I alt	
Séquence 1				
F	1	2		
	3 min	4 min		
	B	3	4	
		14 min	45 min	
M				
	H			
I = 0		I cont	I alt	
Séquence 2				
F				
	B	2	3	4
		15 min	28 min	8 min
	M			
H		1		5
	10 min		3 min	
I = 0		I cont	I alt	
Séquence 3				
F				
	B	1	2	
		0.25 min	2 min	
	M	3	4	5
0.5 min		46 min	1.5 min	
H	0			
	1 min			
I = 0		I cont	I alt	
Séquence 4				
F		0		
		0.5 min		
	B	1	2	3
		1 min	2.5 min	2 min
M	4	6	5	
	1 min	54 min	2 min	
H				
	I = 0		I cont	I alt
Séquence 5				
F	1	2		
	1 min	1.5 min		
	B	3	4	
		1 min	5 min	
M	6	8	7	
	5.5 min	59 min	0.5 min	
H	5			
	4 min			
I = 0		I cont	I alt	
Séquence 6				
F	4	5		
	1 min	13 min		
	B			
		M	3	7
3 min	21 min		3 min	
H	3	1	2	
		2 min	25 min	
I = 0		I cont	I alt	
Séquence 7				
F				
	B	1	2	
		3 min	58.5 min	
	M			
H		0		
	2 min			
I = 0		I cont	I alt	
Séquence 8				
F		0		
		2 min		
	B	1	2	
		24 min	60 min	
M				
	H			
I = 0		I cont	I alt	
Séquence 9				

F B M H représentent les dispositifs expérimentaux : **F** le dispositif fil/aimant, **B** le système bobine-aimant, **M** la maquette, **H** le haut parleur. Chaque case « remplie » représente une étape réelle de la séquence, les nombres 1,2... l'ordre des étapes avec les temps consacrés à chacune d'elles.

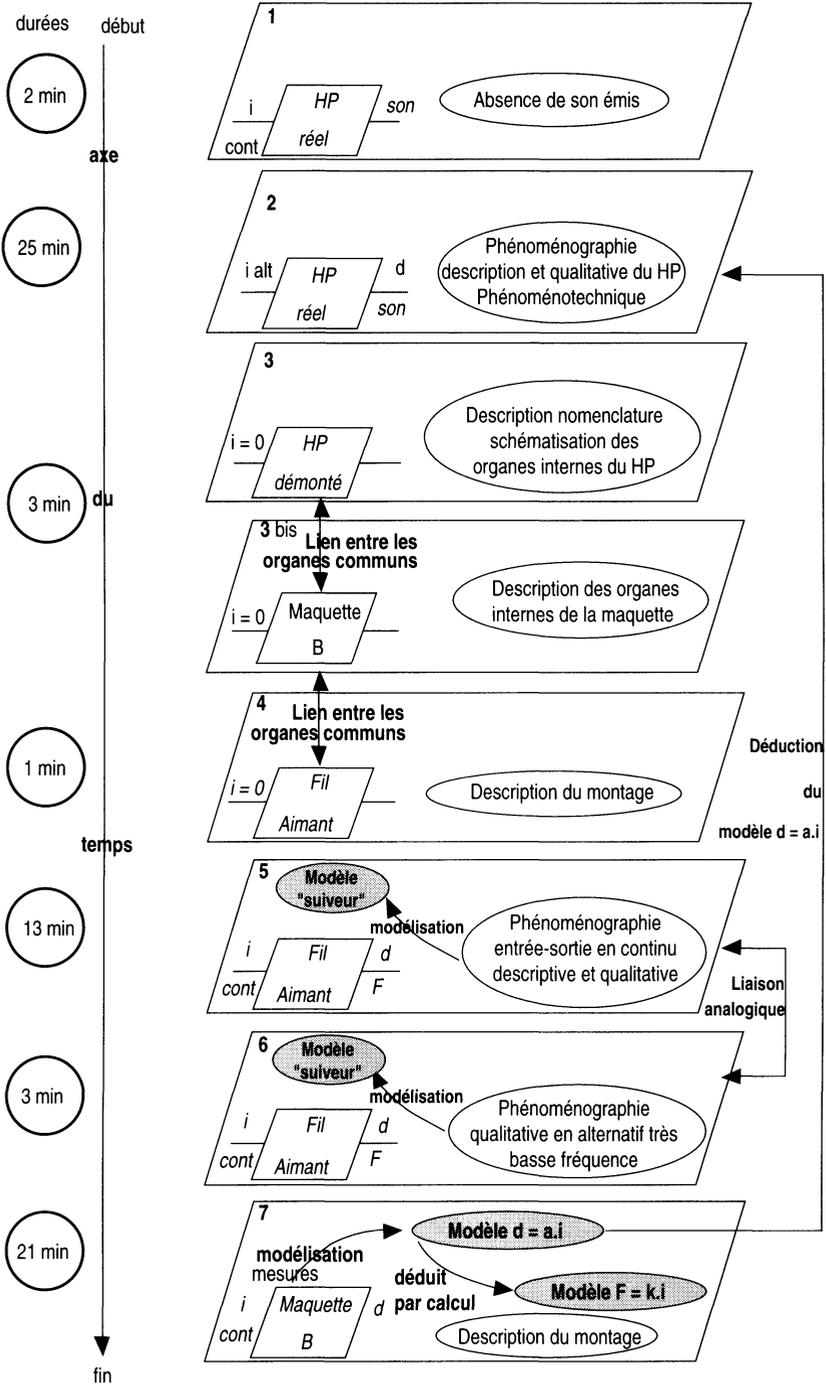
ANNEXE 2 : Les étapes de la séquence 7

FIL A	4	1 min	5	13 min	
	Description du montage dit des rails de Laplace.		Mise en évidence du phénomène de Laplace. Influence du sens du courant sur le sens de la force. Influence de l'accroissement de l'intensité sur le mouvement de la tige.		
BOB	▲				
MAQ	3		7	21 min	6
	Description des organes de la maquette transparente B de HP		Modélisation du comportement du HP : d (dépl membrane) = $a.i$ (intensité). Par mesures sur la maquette Pierron projetée au tableau. Modélisation $F = k.i$ déduite par le calcul de $d = a.i$ Explication à l'aide de $d = a.i$ des propriétés du HP en fonctionnement alternatif.		Alimentation de la maquette de HP transparente B par un GBF en basse fréquence. Etude qualitative du fonctionnement de la maquette. Explication de son mouvement en liaison avec le comportement du fil de Laplace alimenté en continu.
HAUT	▲				▼
	3	3 min	1	2 min	2
	Description Schématisation des organes du HP à partir d'un HP démonté.		Alimentation du HP en continu. Mise en évidence de son non fonctionnement.		Alimentation du HP avec un GBF. Etude qualitative du HP en fonctionnement. Influence de la fréquence et de l'amplitude du signal d'entrée sur le son émis.
		$i = 0$		i CONTINU = + OU -	i ALTERNATIF

ANNEXE 3 : Les plans de modélisation de la séquence 5



ANNEXE 4 : Les plans de modélisation de la séquence 7



Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences :

observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique

Marie-Geneviève SÉRÉ

DidaScO
Université Paris XI Bâtiment 333
91405 Orsay, France.

Michel BENEY

DidaScO
Université Paris XI
et Université de Brest
UFR Sciences et Techniques
BP 809
29200 Brest cedex, France.

Résumé

Ce travail tente de caractériser les opérations intellectuelles d'étudiants de début d'université, pendant l'activité même de manipulation, lors de travaux pratiques (TP). Les étudiants sont guidés par un polycopié apportant des informations théoriques et donnant des procédures expérimentales. Les observations ont été

faites «in vivo» et les données récoltées interprétées avec des catégories utilisées par les psychologues dans le paradigme du traitement de l'information. Ainsi l'activité intellectuelle des étudiants peut être interprétée par la juxtaposition de «réseaux d'actions» et de «réseaux de concepts», les premiers étant les plus prégnants lors des TP qui ont été observés.

Mots clés : travaux pratiques, université, physique, cognition, apprentissage.

Abstract

This study aims to characterise students' intellectual operations during hands-on activity, in the first year of university. The students were guided by a textbook providing theoretical information and experimental procedure. The observations were performed «in vivo» and the collected data interpreted using categories coming from psychology and specifically from the paradigm of «information processing». The main result is that students' intellectual activity can be interpreted by the juxtaposition of «action networks» and «concept networks», the former being more present in mind during the sessions of labwork observed.

Key words : laboratory work, university, physics, cognition, learning.

Resumen

Este trabajo intenta caracterizar las operaciones intelectuales de estudiantes en el inicio de la universidad, durante la actividad misma de manipulación, en los trabajos prácticos (TP). Los estudiantes son guiados por una fotocopia la cual contiene la información teórica y el procedimiento experimental correspondiente. Las observaciones han sido realizadas «in vivo» y los datos recolectados han sido interpretados a partir de categorías utilizadas por los psicólogos dentro del paradigma del tratamiento de la información. Así la actividad intelectual de los estudiantes puede ser interpretada por la yuxtaposición de «redes de acciones» y de «redes de conceptos», siendo las primeras, las más presentes durante la realización de los trabajos prácticos observados.

Palabras claves : trabajos prácticos, universidad, física, cognición, aprendizaje.

INTRODUCTION

Dans ce travail, nous nous sommes proposés d'observer des étudiants pendant des séances de travaux pratiques de physique, de deuxième année de DEUG. Rappelons qu'en France, les deux premières années d'université conduisent au diplôme appelé DEUG (Diplôme d'Études Universitaires Générales). Ce sont des séances en laboratoire semblables à celles qui existent dans de nombreuses universités françaises et européennes, en temps limité (trois heures), pour lesquelles le matériel est fourni et dont les activités sont guidées par un texte donné aux étudiants. Lors de notre observation, les séances n'avaient subi aucune modification par rapport à leur déroulement habituel.

Notre travail se situe dans la lignée de travaux de didactique qui ont utilisé l'observation d'apprenants réalisant des expériences, pour repérer :

- les apprentissages conceptuels réalisés pendant des séquences d'enseignement (Kaminski, 1989 ; Séré, 1992 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1993) ;

- les raisonnements mis en œuvre de façon spécifique au cours de l'activité expérimentale, tels que la modélisation ou le traitement de données expérimentales, quantitatives ou qualitatives (Chomat et al., 1992 ; Beaufilets et al., 1994 ; Tiberghien, 1994). Notre travail se distingue cependant de ces études car, pour obtenir ce type de résultats, les auteurs que nous venons de citer ont eu le plus souvent à organiser des séquences d'enseignement «*ad hoc*» auxquelles ils ont associé des questionnements spécifiques. Pour notre part, par l'observation de travaux pratiques non modifiés à cette fin, sans questionnement spécifique (voir le recueil des données paragraphe 2) nous ne pouvons prétendre évaluer des apprentissages, bien qu'ils figurent parmi les objectifs principaux des séances observées et qu'ils se réalisent probablement sous nos yeux.

Nous tentons de caractériser les opérations intellectuelles qui sous-tendent et dirigent l'action et les gestes mêmes des étudiants, c'est-à-dire ce que l'on appelle la manipulation. Nous cherchons à caractériser l'activité, peu conceptuelle certes, mais cependant intelligente, qui permet d'atteindre les buts pratiques qui sont fixés à l'apprenant, essentiellement des montages, des réglages, le fonctionnement de dispositifs, des mesurages.

Les opérations intellectuelles, étroitement liées à l'action, que nous cherchons à caractériser, sont :

- l'assimilation et la reformulation des buts qui sont assignés,

– le rappel et l'utilisation d'un certain nombre de savoirs qui sont disponibles de façon immédiate dans la situation et le «milieu» au sens de Brousseau (1986) et qui sont ceux de la séance,

– les opérations de contrôle qui permettent à l'étudiant de décider s'il peut continuer, s'il doit recommencer, s'il doit chercher une nouvelle information ou passer à une autre consigne.

Nous nous intéressons donc au fonctionnement intellectuel d'étudiants quand ils cherchent à «réussir» au sens où J. Piaget a distingué l'activité intellectuelle tournée vers la réussite de l'action, de celle qui est tournée vers la compréhension, en particulier dans le livre «*Réussir et comprendre*» (Piaget, 1974).

À l'instar de J. Piaget, nous ne prétendons pas que réussir et comprendre, lors d'une séance de TP de physique de DEUG, soient des activités distinctes et séparables. Les articulations de ces deux opérations existent mais notre propos est ici de caractériser l'activité intellectuelle des étudiants quand ils recherchent la réussite de l'action demandée et qu'ils manipulent. Aussi les notions théoriques, objets de la séance de TP, pourront sembler avoir une place inhabituellement modeste dans nos observations et nos analyses. De plus nos observations cessent au seuil du traitement des données, puisqu'il ne s'agit plus alors d'agir et de faire fonctionner au sens propre. De fait, comme nous allons le préciser, ces notions théoriques sont en général fournies à l'étudiant dans le polycopié en introduction de la séance. Avec ce que l'étudiant a déjà accumulé comme savoirs dans les années précédentes, ces notions théoriques plus ou moins nouvelles, forment une sorte de bibliothèque mentale ou de banque de données disponibles, qu'il n'est pas temps de mettre en question quand il s'agit de manipuler et de faire fonctionner les dispositifs mis à disposition.

Nous rendrons compte de nos observations et de l'analyse qui a pu en être faite de la façon suivante :

– dans une **première partie**, nous tenterons de dégager quelques caractéristiques des travaux pratiques (TP) que nous avons étudiés, TP dont la forme peut être qualifiée de «classique» en France. Ce sont des TP étroitement guidés par un polycopié que la littérature anglo-saxonne qualifie parfois de «*cookbook labwork*» (Gangoli & Gurumurthy, 1995).

Étant donnée la complexité des TP à ce niveau de l'université que nous avons privilégié, nous rendrons compte de cette analyse, qui a porté sur plusieurs séances de TP, à partir d'un seul exemple qui nous paraît prototypique : la mesure de la vitesse de la lumière en DEUG 2^{ème} année à l'université de Brest. Comme on le verra plus loin, cet exemple fait en effet

partie des nombreux TP pour lesquels le matériel est fourni, les méthodes de mesure et le traitement des données sont fixés, les notions théoriques, jugées indispensables par le concepteur de la séquence, sont rappelées,

– dans une **deuxième partie** nous décrivons notre méthodologie d'observation,

– la **troisième partie** donnera les résultats de l'observation : nous tenterons de mettre en évidence les opérations intellectuelles qui nous paraissent rendre compte des activités ainsi que des verbalisations des étudiants pendant la manipulation. Dans le cadre de cet article, cette analyse sera faite seulement à propos de la séance de TP choisie comme exemple,

– enfin dans la **quatrième partie**, en rassemblant les résultats obtenus lors de la séance qui a servi d'exemple dans cet article, et ceux d'autres séances sur des thèmes différents, nous tenterons d'interpréter nos observations en soulignant quelques proximités avec des résultats obtenus dans le cadre du traitement de l'information, développé par des psychologues de la cognition. Ce cadre d'interprétation laisse envisager la possibilité d'étendre nos catégories d'analyse à l'activité manipulative d'autres types de TP implantés à ce niveau d'enseignement (essentiellement les projets).

1. LES TP CLASSIQUES TELS QUE LE POLYCOPIÉ LES PRÉSENTE : LA TÂCHE PRESCRITE

La séance de TP que nous avons choisie comme exemple est intitulée : «La vitesse de la lumière». Il s'agit de mesurer cette vitesse dans trois milieux différents (air, eau, résine). Nous décrivons d'abord le texte donné aux étudiants sous forme de polycopié. Puis nous caractériserons le contrat didactique et les objectifs de la séance elle-même.

1.1. Le polycopié de TP : «La vitesse de la lumière»

Le texte fourni aux étudiants comprend essentiellement un développement théorique, une liste et une description du matériel, les méthodes à utiliser pour obtenir les mesures à effectuer. Nous mettons ici en lumière quelques caractéristiques de ce texte, permettant la compréhension des observations qui suivent.

La figure 1 donne, d'une part, le schéma fourni aux étudiants, d'autre part, un schéma simplifié, suffisant pour la lecture de cet article.

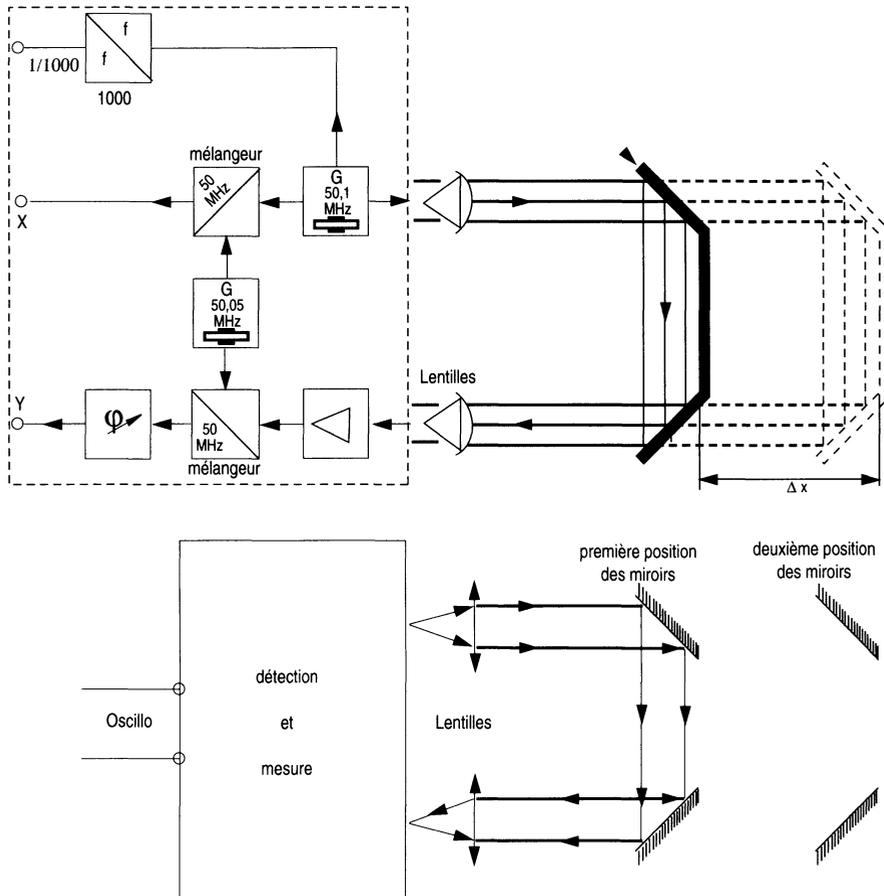


Figure 1 : Principe de l'appareil de mesure et de détection (extrait du polycopié) (en haut). Dispositions respectives des appareils d'optique, de détection et de mesure (en bas)

1.1.1. L'exposé des savoirs en jeu

«On UTILISE la relation...»

Comme c'est souvent le cas dans de tels TP, un «morceau» de théorie est choisi et utilisé. Ici c'est la relation : $c = DI / Dt$

- * DI est la distance parcourue par la lumière,
- * Dt le temps mis à la parcourir,
- * c est la vitesse de la lumière,

et il est rappelé que c est constante dans un milieu homogène, sa valeur dépendant du milieu de propagation considéré. Rien de plus n'est énoncé à propos de la propagation de la lumière.

«*On utilise un ARTIFICE*»

Il est fréquent dans les TP qu'on ne prenne pas la méthode qui découlerait directement de la relation choisie, mais qu'on fasse un détour pour mettre en évidence le phénomène ou pour effectuer des mesures. Ici c'est le coût élevé de la méthode directe qui est invoqué. Le signal lumineux est modulé, l'information recueillie est transformée pour être «lisible» sur un oscilloscope. Ainsi c'est la modulation qui permet d'avoir une information sur le retard dû à la propagation de la lumière sur une distance DI . Le calcul qui explicite cet artifice fait partie de la «partie théorique» et occupe presque deux pages. Il n'a rien à voir avec la vitesse de la lumière, mais plutôt avec les mesures électroniques de signaux lumineux, indépendamment du thème en jeu.

Dans la partie intitulée «manipulation» on expose un autre artifice : au lieu de mesurer un déphasage directement, on demande d'utiliser un «*bouton déphaseur*» sur le boîtier d'émission.

«*LA FORMULE FINALE*»

On appelle ainsi une formule dans laquelle on fait «*rentrer*» les valeurs obtenues par les mesures directes. Cette formule ressemble peu à la définition initiale $c = DI/Dt$, puisque Dt s'exprime à partir du déphasage d'un signal Df sur l'oscilloscope et de deux pulsations w_1 et w_2 . On obtient ainsi une relation $Dt = Df/(w_2 - w_1)$, intermédiaire, qui est utilisée et transformée dans le but de diverses déterminations :

- mesure 1 de c dans l'air

Compte tenu des déphasages au niveau de l'oscilloscope, multiples d'un entier N , tout calcul fait, on a la relation : $x = 0,499 \cdot N \cdot c \cdot 10^{-9}$ (ms^{-1}) x étant le déplacement des miroirs (produisant une modification de la distance DI parcourue par la lumière).

Cela constitue «*la formule finale*» pour cette mesure 1,

- mesure 2 de c dans l'air

Elle consiste à mesurer le déplacement des miroirs qui produit un déphasage égal à P .

Tout calcul fait (calcul qui en général retient peu l'attention des étudiants pendant la séance), tenant compte du bouton déphaseur, on a :

$$c = 2,004 \cdot 10^8 \cdot x$$

qui constitue «*la formule finale*» pour cette mesure 2,

- mesures de c dans l'eau puis la résine.

Ici on compare c dans l'air et dans l'eau, puis dans l'air et dans la résine. Comme précédemment, une formule finale, simple et globale, indique le calcul à faire à partir des mesures directes.

Soulignons que l'étudiant est amené à manipuler essentiellement ces «*formules finales*» qui ont peu de sens en ce qui concerne la propagation de la lumière.

1.1.2. Le texte guidant l'expérimentation

Le texte du photocopié présente une DESCRIPTION de l'appareillage. Les étudiants disposent de deux photos légendées et de la description des éléments les uns après les autres. Certaines parties descriptives guident plus spécialement l'action :

- le *bouton* modifiant la phase entre le signal émis et le signal reçu est localisé sur une figure,

- on évoque un «*réglage correct*» des miroirs et des lentilles donnant une certaine géométrie au faisceau, de façon à ce qu'elle soit conservée quand on modifie la longueur du faisceau par le déplacement des miroirs de renvoi (chacun de ces miroirs fait tourner le faisceau de 90° et à eux deux font repartir celui-ci dans la direction opposée),

- pour l'oscilloscope, on indique les «*seuls boutons à utiliser*». On donne de plus une procédure de contrôle de la base de temps, pour lequel on «*touche*» au bouton de calibrage. (Tel est le vocabulaire couramment utilisé en TP par les étudiants comme par les enseignants.)

La PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE suit immédiatement l'établissement d'une des formules finales : les positions de départ, d'arrivée, le mode de l'oscilloscope, etc., sont décrits.

Au passage, des procédures, habituelles dans les TP de ce niveau, sont préconisées :

- choix du mode X - Y ou du mode dual pour l'oscilloscope,
- comparaisons avec ce qui est connu ou vient d'être mesuré plutôt que mesures absolues,

- mesures analogiques : l'appareil de mesure transforme la quantité à mesurer en une grandeur spatiale (longueur ou angle). De plus, l'oscilloscope donne une visualisation du signal. Pour mesurer une différence de phase, on dispose d'un bouton déphaseur qui donne la possibilité d'ajouter ou de soustraire un terme de phase.

L'étudiant doit discerner qu'un même signal sur l'oscilloscope peut correspondre à plusieurs signaux lumineux différents et *vice-versa*.

Il y a donc deux signaux dans cette manipulation : la lumière (qui en est le thème), et le signal sur l'oscilloscope.

1.1.3. Conclusion

Comme on peut s'y attendre, il reste une grande part d'**implicite** dans ce texte. Par exemple, dans toutes les transformations (addition, multiplication, etc.) de signaux dont il est question, la distorsion ou la diminution d'intensité ne sont jamais prises en compte. Elles constituent pourtant autant d'événements pour l'étudiant qui manipule. Pour mener à bien le travail, il suffit de s'intéresser exclusivement au déphasage.

En dépit de la présence d'une partie théorique et donc d'objectifs conceptuels identifiables comme nous allons le montrer ci-après, le texte du photocopié présente les caractéristiques d'un texte à visée pragmatique (Richard, 1990).

1.2. Le contrat didactique et les objectifs

1.2.1. Le contrat didactique

Pour toute séance de TP en université, les enseignants ont pour les étudiants des objectifs que nous détaillons ci-après. Dans le contexte des TP qui nous intéresse, les étudiants sont vraisemblablement conscients des objectifs conceptuels et théoriques, peu des autres types d'objectifs. Pendant le temps de la séance, le but principal de leur activité est de faire fonctionner les dispositifs disponibles et d'obtenir le nombre de mesures demandé. Ils font ainsi montre d'une grande docilité vis-à-vis du photocopié, avec l'intention d'être capables de recommencer le même travail le jour de l'examen. En effet, ce jour-là, à la suite d'un tirage au sort, ils auront à refaire une des expériences et à mener à bien le recueil des mesures. L'enseignant est donc disponible pour aider à la **réussite** de l'expérience, et répondre aux questions de façon à ce que cette réussite puisse être renouvelée le jour de l'examen. Il aide, et ne porte de jugement ni sur la séance elle-même, ni sur le comportement des étudiants, ni sur le compte rendu qui est d'ailleurs facultatif.

1.2.2. Les objectifs conceptuels et théoriques

Bien que le titre de la séance de TP que nous avons prise comme exemple soit : «Mesure de la vitesse de la lumière», l'exposé parle peu de la lumière, de sa propagation, et de sa vitesse. Cette séance est en réalité l'occasion d'autres apprentissages. En effet, à ce niveau universitaire, on peut considérer que les notions théoriques d'optique ou d'électronique ont été déjà étudiées, «vues», sinon sues. Il est alors légitime de demander aux étudiants de les utiliser sans les exposer à nouveau dans un texte théorique. L'apprentissage de ces notions se fait à travers l'utilisation, l'application, le recours à une théorie sous-jacente.

Il arrive même que le polycopié demande de recourir à des notions qui seront vues ultérieurement : «*Vous verrez la prochaine fois le principe du galvanomètre à cadre mobile*».

Pour une séance de TP donnée, on peut donc assimiler les objectifs conceptuels et théoriques non à ceux qui sont exposés en tant que tels, mais à ceux qui sont nécessaires à la conduite de l'action. Pour cette séance, les objectifs appartiennent à l'**optique** (caractère ondulatoire de la lumière, propagation, transformation d'un faisceau lumineux par une lentille, un miroir, intensité et phase d'une onde), ainsi qu'à l'**électronique** (transformation d'un signal lumineux en un signal électrique, grandeurs définissant ce signal, filtrage).

On retrouve ici le fait que, à l'université, le temps est venu pour les étudiants d'expérimenter en «utilisant» la théorie, et en ayant recours à ce qui a déjà été compris pour réussir. À ce titre, la situation est légèrement différente de ce qu'elle est au niveau du lycée où on utilise fréquemment les TP pour introduire de nouvelles notions.

1.2.3. Les objectifs de savoir-faire et de méthode

Comme on l'a montré, le texte du polycopié fait mettre en œuvre des artifices, des traitements de données, des «trucs» d'utilisation d'un appareil, sans pouvoir tout expliquer et justifier. L'acquisition de ces savoir-faire fait partie des objectifs. Au delà, nombre d'enseignants recherchent aussi des objectifs de méthode. Ils sont formulés par exemple en termes d'apprentissage de «*la structure de la science*», qui est censée se réaliser par l'activité elle-même.

2. MÉTHODOLOGIE D'OBSERVATION

2.1. Recueils de données

Nous avons mis en oeuvre un recueil de données qu'on peut qualifier de «*in vivo*» dans la classe même en tentant de saisir le maximum de données sans toutefois perturber l'activité des étudiants.

L'observateur est l'enseignant. Il n'est pas seul comme enseignant : vu la dimension des salles, ils sont deux. Les étudiants sont prévenus très globalement que leur travail est l'objet d'une recherche en didactique. L'observateur les enregistre quand il s'approche d'eux à l'aide d'un magnétophone, soit suspendu à son cou (visible), soit dans sa poche (invisible). Les résultats dont nous rendons compte ici proviennent d'observations lors de plusieurs séances de TP, dans deux universités françaises (Brest et Paris XI à Orsay), dont les thèmes étaient variés (Beney & Séré, 1995) :

- mesure d'une induction magnétique,
- spectroscopie,
- mesure de la vitesse de la lumière,
- mesure de la constante de Planck,
- échanges de chaleur,
- ondes centimétriques : interférence et diffraction,
- ondes visibles : interférences et diffraction,
- guide d'ondes.

Nous avons réalisé quelques enregistrements vidéos, pour pouvoir reprendre les observations après la séance.

Les observations ne sont jamais particularisées à un étudiant ou à un binôme d'étudiants donné. Et, ni pour l'ensemble du groupe-classe, ni pour un binôme on ne peut prétendre tout observer. Nos données constituent un sous-ensemble des données pertinentes pour décrire et catégoriser les opérations intellectuelles pilotant l'activité. Nous obtenons seulement un échantillonnage, qu'on peut qualifier d'aléatoire, parmi les actions manipulatoires et les verbalisations, tout en sachant qu'une grande part de l'activité intellectuelle est silencieuse.

Le champ des verbalisations est constitué de la façon suivante :

– l'observateur sollicite les étudiants par des questions du type : «*Qu'est-ce que vous faites ? Est-ce que ça va ? Pourquoi avez-vous agi ainsi ? etc.*» ce sont des questions habituelles pour un enseignant. Elles sont ici plus fréquentes qu'à l'habitude,

– l'observateur répond aux questions des étudiants quand ils sont

• dans une phase de questionnement qui se traduit pas des phrases telles que :

«*Par quoi vais-je commencer ?*»

«*Est-ce que je peux considérer que le réglage est suffisant ?*»

«*Est-ce que ce que j'ai essayé est satisfaisant ?*» etc.

• dans une phase de difficultés, et donc de non-réussite, au cours de laquelle ils doivent trouver des solutions. Le polycopié décrit toujours un déroulement de l'activité qui conduit à la réussite. Or ce qui se passe en TP est de l'ordre de l'événement singulier. Il peut y avoir de l'imprévu par rapport à ce que décrit le polycopié. Cela pousse à chercher plus loin, à faire preuve d'initiative et donc à mettre en jeu des opérations intellectuelles qui sont notre objet d'étude. Il faut d'ailleurs en premier lieu juger de la conformité à l'événement préconisé par le polycopié (nous verrons plus loin qu'un étudiant peut penser avoir réussi à obtenir un certain signal sur un écran d'oscilloscope, alors qu'il l'a obtenu non en «touchant» aux miroirs du montage, mais en «touchant» à un bouton de l'oscilloscope). Il faut de plus se sortir de la situation de non-réussite.

Il arrive également que tout «*marche bien*» sans problème et sans que l'étudiant ait l'occasion de s'exprimer oralement. Dans ce cas l'observateur est privé de données d'observation. Il peut arriver aussi que l'étudiant dans cette situation ait eu peu à réfléchir, et paradoxalement, ait eu moins l'occasion d'un apprentissage que si les choses avaient moins bien marché. Ainsi il est arrivé que l'enseignant demandât aux étudiants comment ils avaient fait le réglage et que ceux-ci répondissent qu'ils ne savaient pas : «*cela a fonctionné, c'est tout !*»

Nous récoltons donc un ensemble de données discontinues dans le temps, incomplètes, et non particularisées à un individu. Elles correspondent aux événements qui se déroulent lors de la séance, souvent différents des événements prévus *a priori* par le polycopié.

2.2. L'analyse des données

Notre démarche à tout d'abord été très empirique. Disposant d'un certain nombre de données, très vite nous nous sommes aperçus que les

seuls outils d'analyse provenant de la physique étaient insuffisants et que c'étaient des outils de psychologie cognitive qui pouvaient en permettre la compréhension.

Ainsi, ce que nous avons enregistré et observé est justifiable d'une double catégorisation.

Toute production d'un étudiant est un moment de la manipulation et a un sens par rapport à la **logique scientifique** de l'activité observée. C'est pourquoi nous avons décrit ci-dessus, brièvement, cette logique. Elle articule des savoirs théoriques fournis par la physique, objet de l'apprentissage dans cette séance même, ou lors d'un enseignement antérieur. Elle se manifeste aussi dans une succession de phases présentées dans le polycopié.

Toute production d'un étudiant se situe dans une deuxième logique : la **logique de son activité psychologique**, qu'il s'agit pour nous de qualifier. Nous la caractériserons par ce qui la pilote : le choix de buts et de sous-buts, de plans, de la recherche de résultats et de moyens, sachant qu'un même résultat peut être obtenu par différents moyens et réciproquement. Nous utilisons les concepts de contrôle – en tant que retour en arrière sur l'action pour la valider ou non –, de diagnostic – en tant qu'activité de compréhension d'une situation –, et de prise d'information dans des textes. Pour en rendre compte, nous utilisons des concepts intervenant essentiellement quand il y a recherche de réussite d'une action : le concept de règle – en tant que connaissance qui fonctionne comme une prescription –, d'action prototypique – en tant qu'action qui sert d'exemple pour d'autres actions –, d'analogie, etc.

Nous donnerons donc nos résultats en les regroupant suivant la première logique qui est celle d'une activité expérimentale en physique. Nous avons discerné les phases suivantes :

- identification des éléments matériels fournis à partir du texte, et réalisation du montage,
- identification d'un but au cours de la mise en œuvre,
- identification et contrôle du signal,
- identification et contrôle des actions,
- contrôle sur l'ensemble de la mise en œuvre (typiquement au moment de faire les mesures).

3. LES OPERATIONS INTELLECTUELLES DES ÉTUDIANTS PENDANT LA SÉANCE «Vitesse de la lumière»

3.1. Identification des éléments matériels et réalisation du montage

Dans la séance de TP que nous avons choisie à titre d'exemple, la phase d'identification des éléments ne donne lieu à aucune observation pertinente pour notre propos. Les connexions entre appareils sont préalablement réalisées et les appareils eux-mêmes disposés exactement comme sur le schéma fourni au début de la manipulation (figure 1), pour la mesure de la vitesse de la lumière dans l'air. Cette mesure est ensuite réalisée dans l'eau en plaçant un tube plein d'eau sur le trajet de la lumière. Sa longueur (1 m) fait qu'aucune initiative n'est requise pour placer ce tube. Enfin, la mesure est réalisée dans la résine : il faut alors placer le bloc de résine de 30 cm de long sur le trajet de la lumière. C'est la seule occasion où il est requis quelque initiative pour la disposition des appareils.

Plusieurs binômes remplacent le tube plein d'eau par le bloc de résine, sans rien modifier d'autre, laissant ainsi cheminer la lumière dans l'air sur une longueur de 70 cm. Ils remplacent l'eau par la résine sans changer la «formule finale», par **analogie** avec le premier cas étudié.

E (Enseignant) : «*pourquoi le mettre à un mètre [le bloc de résine] ?*»

b (un des étudiants du binôme) : «*comme pour l'eau*»

E : «*pourquoi on l'a mis à un mètre ?*»

b : «*il y a un aller et retour, il faut le mettre à un mètre.*»

Les étudiants ne reviennent pas à la théorie (propagation de la lumière) ou au domaine d'application de la formule (trajet parcouru par la lumière dans le matériau), mais ils s'en remettent à une **action prototypique** (il faut mettre à un mètre), ce qui est probablement moins coûteux en temps.

Il est arrivé que l'enseignant fasse formuler le but de l'opération :

E : «*qu'est-ce que vous faites ?*»

B : «*on mesure un temps, un décalage en temps*»

E : «*oui mais vous savez ce qu'il faut faire : il faut mesurer un décalage en temps dû à la résine, et si vous mettez à un mètre vous aurez aussi un décalage dû à l'air.*»

(Il rapproche alors le bloc de résine des lentilles.)

b : «...*juste derrière la lentille...*»

E : «*pourquoi ?*»

B : «*pour qu'il y ait le moins d'air possible.*»

Ainsi les étudiants avaient réalisé le montage sans référence aux formules à utiliser ni à leurs conditions d'utilisation.

C'est ce que nous avons constaté dans d'autres manipulations : pour cette toute première étape, les actions pour identifier les éléments et les organiser en montage sont guidées par des **analogies**, des **règles**, souvent de **faisabilité**, des **actions prototypiques**. Elles constituent un détour par rapport au recours à la théorie en jeu.

3.2. Identification des buts lors de la mise en œuvre

La mise en œuvre consiste en les actions suivantes :

- rendre un faisceau lumineux parallèle,
- mettre en phase deux signaux (avant et après propagation) pour une position donnée du miroir, ceci en faisant apparaître une figure donnée sur l'écran de l'oscilloscope (soit une ellipse, soit deux sinusoïdes),
- fixer la base de temps de l'oscilloscope à la valeur imposée,
- déplacer le miroir et effectuer les mesures (deux méthodes) en ayant donné au décalage des sinusoïdes des valeurs imposées,
- disposer un tube plein d'eau et affiner les réglages. Recommencer les mesures,
- disposer un bloc de résine de dimensions différentes. Recommencer les mesures.

Nous prendrons pour seul exemple la **tâche** «*faire un faisceau parallèle*» qui est explicitement demandée avec cette formulation dans le photocopié. Nous avons retrouvé des résultats semblables pour d'autres tâches comme «*mettre en phase les deux signaux*», etc.

«*Faire un faisceau parallèle*» est une tâche qui est demandée pour qu'il soit possible de translater les miroirs en gardant tous les autres paramètres constants d'une position à l'autre. Ainsi une légère divergence est admissible car la faible modification d'amplitude qui en découle peut être rattrapée par action sur les lentilles par exemple. Ceci nécessite de comprendre que l'action sur une lentille n'introduit pas de déphasage.

Ainsi l'expérimentateur doit connaître la relation entre déplacement de la lentille/déphasage/changement d'amplitude pour effectuer les mesures dans les meilleures conditions. En réalité les étudiants reformulent la tâche en terme de buts et leur associent des critères de réussite.

Nous allons montrer comment les étudiants se donnent des **buts**, éventuellement subdivisés en **sous-buts**. Ceux-ci, rattachés à une ou des actions, sont différents des objectifs utilisés prévus par le texte destiné à les guider. Ils se donnent aussi des **critères**, qui ne sont pas issus de la relation énoncée ci-dessus, ou ont recours à des **règles** issues de savoirs théoriques, règles parfois mal adaptées. En témoignent les réponses à la question que nous avons posée plusieurs fois : «*Comment savez-vous que c'est parallèle ?*»

Critère de réussite

N.B. Une citation nouvelle commence avec chaque nouveau numéro.

1 – «*C'est quand ça (le faisceau après réflexion) revient juste dessus.*»

2 – «*On a fait un faisceau qui revient.*»

3 – «*Il faut une belle image au niveau de la deuxième lentille.*»

4 – Des étudiants prennent comme critère la possibilité de bouger le miroir : ce faisant, ils en déduisent qu'il ne faut pas trop rapprocher la lentille du miroir. C'est un critère de faisabilité.

5 – Le dialogue suivant montre la formulation d'un critère puis d'un but : «*On n'a pas deux sinusoïdes*» (sous-entendu : il faudrait les avoir). C'est un critère de réussite.

Buts éventuellement divisés en sous-buts

(Suite du dialogue ci-dessus) - «*On n'a pas deux sinusoïdes.*»

E : «*C'est que vous n'avez pas de signal retour. Il faut régler les lentilles mais faites un faisceau parallèle avant.*

– «*On doit régler pour avoir un signal maximum.*»

6 – «*Quand on règle, est-ce qu'on essaye d'avoir un maximum ici ?*»
(montrant l'écran de l'oscilloscope)

7 – «*Il faut obtenir une courbe identique à celle du départ en jouant sur les lentilles.*»

E : «*Il faut une courbe, c'est-à-dire un signal. Alors quoi faire pour avoir un signal, quel réglage ?*»

– «...déjà regarder si ça... si ça arrive... si le trajet... le trajet lumineux arrive jusqu'à la réception ;»

8 – E : «pourquoi faire un faisceau parallèle ?

– c'est pour concentrer le faisceau.»

Règles

Un dialogue montre que l'étudiant a recours au savoir «ça grossit ,la lentille» alors qu'en l'occurrence, la lentille a pour fonction de transformer un faisceau parallèle en faisceau convergent. Une autre règle qui a été utilisée dans un échange entre enseignant et étudiants, règle inadaptée ici, est : «le faisceau est parallèle quand il vient de l'infini».

La structuration de cette tâche en buts, avec les modes de réalisation ainsi que les critères de contrôle de l'action qui en découlent, est différente pour l'enseignant et l'étudiant. Il s'en suit de réelles difficultés pour les étudiants à diagnostiquer l'erreur en cas d'événement imprévu reconnu comme tel. Pour décider s'il y a réussite et atteinte du but ou au contraire difficulté, et donc pour décider de la suite de l'action, les étudiants se donnent des indices qui portent sur l'un des deux signaux (signal lumineux ou signal sur l'oscilloscope).

3.3. Identification et contrôle du signal

Ainsi des jugements sont portés par les étudiants sur les signaux obtenus, la question étant sans cesse de savoir s'ils ont obtenu le «bon signal» et si le deuxième signal (oscilloscope) obtenu après différentes transformations, représente bien ce qu'ils cherchent.

3.3.1. Le jugement sur le signal lui-même

• Signal lumineux

1 – Des étudiants regardent si l'image sur un papier situé à l'orifice de sortie du faisceau est nette. L'enseignant leur demandant «pourquoi pas plus loin ?», ils répondent qu'ils ne savent pas.

2 – «Quand j'éloigne [le miroir], ça disparaît.»

Cet indice d'échec du réglage est souvent choisi : il faut au moins que les deux signaux coexistent. Cet échec peut même déclencher une accusation (c'est à dire un diagnostic) d'insuffisance du matériel :

«C'est la puissance, la puissance du faisceau lumineux qui n'est pas assez importante, alors l'autre (orifice) il reçoit plus rien.»

3 – Un critère n'est pas pertinent : *«il faut que ce soit symétrique»*.

• Signal à l'oscilloscope

1 – Des étudiants tiennent à obtenir une sinusoïde complète et, dans ce but, enfreignent la consigne concernant la base de temps.

2 – Les deux caractéristiques sont l'amplitude et la phase. Il arrive que les étudiants accordent de l'importance à l'amplitude alors que l'essentiel est la phase. L'enseignant évacue alors les questions posées par les étudiants à propos de l'amplitude.

Une autre caractéristique est prise en compte qui n'est pas pertinente ici : à propos de la phase, il est indispensable de comprendre que, si le texte demande de mettre les deux signaux (aller et retour) en phase, c'est essentiellement pour simplifier le recueil de données. La valeur de la phase en elle-même n'a pas d'importance. C'est une sorte d'ajustement de zéro. Pour la réalisation de cet ajustement, les étudiants utilisent souvent des règles prototypiques, mal adaptées : ils réagissent directement à l'aspect observé sur l'écran de l'oscilloscope. Par exemple, devant la figure ci-dessous observée sur l'écran (figure 2), un étudiant dit : *«Ca n'a pas l'air en phase, ça ne se coupe pas en zéro»*.

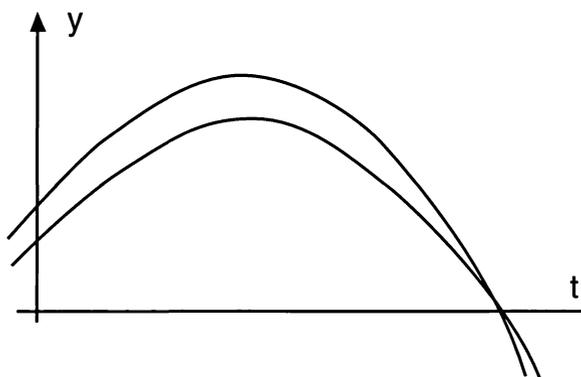


Figure 2 : Signal observé par un étudiant sur l'oscilloscope, ayant provoqué le commentaire : *«Ça n'a pas l'air en phase. Ça ne se coupe pas en zéro.»*

Ainsi les étudiants disposent de **jugements** tout faits, **prototypiques** sur le *«bon signal»*, quasi indépendants du contexte de l'expérience en cours.

3.3.2. Le jugement sur le signal en tant qu'indice de réussite ou d'échec, ou en tant que support de la mesure.

Il s'agit ici uniquement du signal de l'oscilloscope :

1 – *«Si c'est pas parallèle, il y aura un décalage supplémentaire sur l'oscilloscope».*

2 – *«Si ce n'est pas parallèle, ce ne sera pas symétrique».*

3 – Pour les étudiants, tout écart du signal par rapport à ce qui est attendu du «bon» signal permettant la mesure, provoque un arrêt et une demande d'aide. Nous avons observé des réactions semblables quand les étudiants jugent de la «bonne» évolution du signal sur l'oscilloscope au moment de modifier la position des miroirs : par exemple la stabilité est indûment exigée.

De plus, un signal peut apparaître comme «bon» et ne pas permettre les mesures.

Il semble bien que les étudiants disposent de règles pour caractériser et juger les signaux. Ces règles déterminent le diagnostic d'échec ou celui de réussite et contrôlent donc l'action. Si elles sont déconnectées du contexte et ne reposent pas sur les savoirs théoriques en jeu, elles peuvent induire en erreur et gêner l'action.

3.4. Identifications et contrôle des actions

Le moyen de contrôle des actions se situe au niveau de ce qui est perçu par l'étudiant, c'est-à-dire tout ce qui peut être considéré comme un signal. Comme on l'a dit, les signaux sont ici au nombre de deux, le signal sur l'oscilloscope étant le plus important pour contrôler l'action.

On peut représenter par un schéma (figure 3) tout ce qui permet de modifier le signal sur l'oscilloscope.

En plusieurs occasions les étudiants agissent de façon non pertinente sur un des trois éléments indiqués par la figure 3 pour obtenir le signal qu'ils se sont fixés de trouver. En particulier il arrive fréquemment qu'ils touchent à l'oscilloscope (bouton déphaseur) avec l'intention d'améliorer le phénomène lui-même.

Ainsi pour obtenir un résultat ou agir sur lui, il y a plusieurs modes de réalisation. Le choix d'un mode de réalisation particulier et des actions correspondantes (par exemple sur les instruments) nécessite une compréhension des relations action-signal, faute de quoi c'est la production d'un résultat direct qui guide ces actions. Celles-ci sont souvent effectuées

en priorité sur l'appareil de mesure : soit en essayant d'emblée d'amplifier le signal soit en tentant de changer la phase sur l'oscilloscope. Des étudiants en arrivent à enfreindre une consigne, notamment parce qu'ils voulaient faire apparaître une période complète du signal (les conditions de travail préconisées faisaient apparaître seulement une demi période).

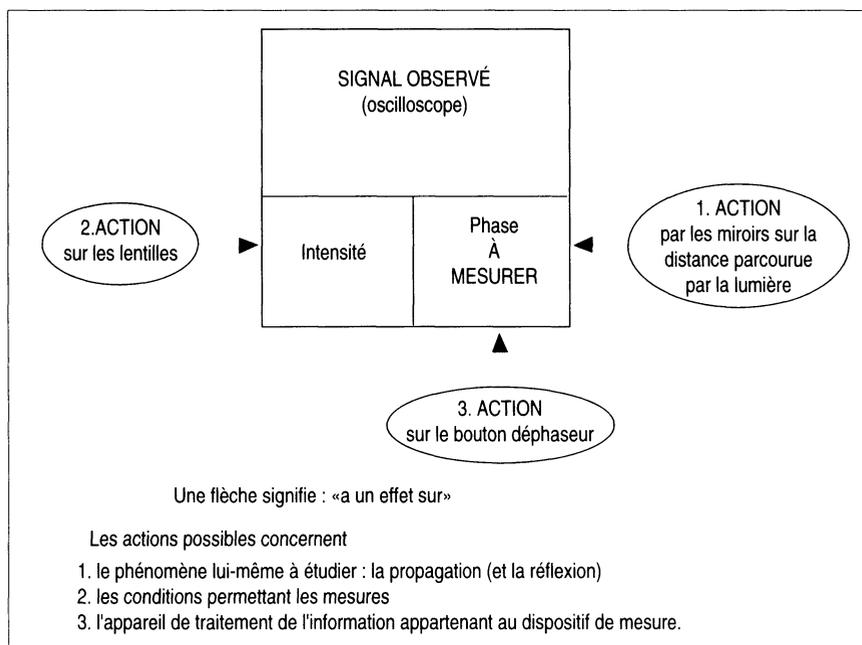


Figure 3 : Les différentes actions sur le signal

3.5. Contrôle sur l'ensemble de la mise en œuvre

Au moment de faire les mesures, ayant réalisé les réglages avec des critères que nous avons détaillés, ayant également obtenu un signal qui paraît «bon», les étudiants doivent recueillir les données. Ils utilisent alors différents moyens de **contrôle** sur l'ensemble de leurs actions.

Un premier type de contrôle consiste en une intervention de la théorie au terme du déroulement pratique de la manipulation, autrement dit en une intervention du sens que donne la théorie en jeu, à l'activité. Certes, ce type de contrôle existe, bien que, observant souvent des étudiants en difficulté, nous l'ayons peu trouvé. En fait l'activité des étudiants a été fortement parcellisée, divisée en sous-buts successifs, la planification en tant qu'anticipation des actions à produire pour atteindre un but, apparaissant

comme peu prise en charge personnellement. Aussi ce premier type de contrôle par la théorie pose problème aux étudiants. C'est ainsi que nous avons enregistré le dialogue suivant entre l'enseignant et des étudiants qui avaient bien réglé leur système et n'avaient plus qu'à faire une mesure :

E : «Où en êtes-vous ?»

b : «on a du mal... parce qu'on a... la différence entre les deux sinusoides... c'est ça : N, on voit pas comment calculer.»

E : «**c'est quoi physiquement le N** ? Qu'est-ce qu'il faut faire pour avoir le N ?»

b : «le temps...»

(la sinusoïde se décale vers la droite)

E : «Elle se décale en temps : **c'est ça le N**. Qu'est-ce qu'il faut faire pour avoir le N ?»

b : «1 cm (sur l'oscilloscope)»

E : «Et 1 cm c'est quoi en retard ?»

b : « 10^6 seconde»

E : «Voilà, c'est tout. Allez-y à 1 cm.»

On voit ici que les étudiants parviennent à décaler les sinusoïdes comme ils se sont fixés de le faire. Ils savent que cela va permettre d'obtenir N, qu'il faut «rentre» dans une formule. Ils ne savent plus la «*signification physique*» de N, comme le dit l'enseignant, ou encore la signification théorique de ce qu'ils manipulent et voient. De la même façon, il n'est pas inutile que l'enseignant leur fasse redire qu'un décalage (en espace) de sinusoïdes correspond à un décalage en temps.

Par ailleurs c'est le moment où il faut recueillir les mesures. Il existe un contrôle de l'ensemble des actions par la **faisabilité** : par exemple le photocopié demande de faire 9 mesures, ou encore il préconise un décalage des sinusoïdes d'un carreau.

Il existe également un contrôle sur les valeurs qui fonctionne par des **règles générales** (c'est-à-dire applicables à des situations expérimentales différentes) sur l'ensemble des valeurs, par exemple :

- les valeurs doivent être proportionnelles,
- les valeurs ne doivent être ni trop petites, ni trop rapprochées,
- on peut aussi retrouver, comme précédemment, des règles de symétrie.

Nous avons donc mis en lumière, dans cette séance, des phases de contrôle global de l'activité menée par :

- la signification théorique de l'activité,

(C'est par ce biais, vraisemblablement, que l'apprentissage conceptuel peut se réaliser.)

- mais aussi la faisabilité des mesures,
- ainsi que des règles générales.

Il existe donc de nombreux distracteurs par rapport à la signification physique de l'activité.

4. LE FONCTIONNEMENT COGNITIF DES ÉTUDIANTS LORS DE L'ACTIVITÉ MANIPULATOIRE

Au terme de ce parcours portant sur une unique séance de TP, prise à titre d'exemple, nous allons tenter de reformuler quelques-uns des résultats obtenus, avec une plus grande généralité. Nous tiendrons compte des observations conduisant à des analyses semblables dans des séances de TP de thèmes tout à fait différents. Nous pouvons tenter une synthèse qui corrobore des résultats avancés par des psychologues de la cognition à propos d'activités d'apprentissages de connaissances bien différentes, non formalisées et modélisées, contrairement aux savoirs en jeu dans la physique.

4.1. L'atomisation de l'action

Lors de ces séances de TP, nous n'avons pas eu l'occasion d'observer de phase de planification. Sans pouvoir généraliser (voir au paragraphe 2.1. le type de données recueillies), nous pouvons cependant dire que pour les étudiants observés, il y a eu «*atomisation de l'action*» comme Vermersch (1991) l'a constaté dans le contexte d'une autre tâche : la réalisation d'une recette de cuisine. Il constate que les consignes ne sont pas exécutées en une seule fois. Elles sont d'abord décomposées en actions élémentaires qui sont alors immédiatement exécutées. D'après cet auteur, ces actions élémentaires, auxquelles correspondent des sous-buts, sont exécutées séparément. Ce comportement traduit la difficulté de faire correspondre directement des actions aux mots qui les définissent.

Dans le cas des TP que nous avons observés, nous avons trouvé une difficulté à faire correspondre les actions aux savoirs conceptuels en jeu.

Il en résulte une difficulté à planifier les actions, c'est-à-dire à combiner la suite d'actions élémentaires qui permettent la réalisation de la consigne. Ce qui est vrai, pour la réalisation d'une tarte aux pommes, l'est aussi pour la réalisation des consignes pour la mesure de la vitesse de la lumière. C'est une des origines de la difficulté à donner un sens physique à l'ensemble des actions élémentaires.

4.2. La sémantique de l'action

Nos résultats peuvent aussi s'interpréter en considérant qu'il existe une sémantique des actions comme il existe une sémantique des concepts. D'après Richard (1990), comme les concepts, les actions s'organisent en réseaux. Pour les actions, trois types d'informations sont à prendre en compte :

- 1 leur résultat (le déclaratif, qui décrit l'état résultant),
- 2 leur exécution (le procédural),
- 3 les prérequis.

Dans les rapports respectifs de l'action et de l'information, il faut tenir compte de ce que :

– une information sur un résultat (type 1) peut correspondre à différentes actions. Ainsi un même signal sur l'oscilloscope peut correspondre à plusieurs états de l'appareillage,

– inversement plusieurs résultats peuvent provenir d'une action donnée. Ainsi les étudiants sont surpris de voir que, en plus de faire changer la phase, un mouvement des miroirs change aussi l'amplitude du signal,

– toutes les informations concernant une action ne sont pas au même niveau hiérarchique : l'information la plus accessible est la première des trois citées ci-dessus, celle qui concerne le résultat de l'action. Les savoirs de la troisième catégorie sont mobilisés le plus difficilement.

Dans le cas des activités en TP que nous avons observées, les trois types d'informations correspondantes sont :

1 la description du résultat (elle contient une part d'implicite. Voir le paragraphe 1.1.),

2 les consignes, généralement dénommées procédures expérimentales,

3 des savoirs conceptuels (complexes au niveau d'études considéré). Ils sont soit résumés ou rappelés dans le texte du polycopié, soit déjà

rencontrés dans un contexte différent. Nous avons montré que les étudiants se situent plus dans une sémantique des actions, dont nous avons donné un exemple d'organisation en réseau à la figure 3. Alors qu'un réseau conceptuel pour la même séance de TP pourrait être celui de la figure 4 pour la partie optique. Plusieurs réseaux conceptuels (nature ondulatoire de la lumière, optique géométrique des lentilles et miroirs, électronique) doivent d'ailleurs être présents à l'esprit des étudiants.

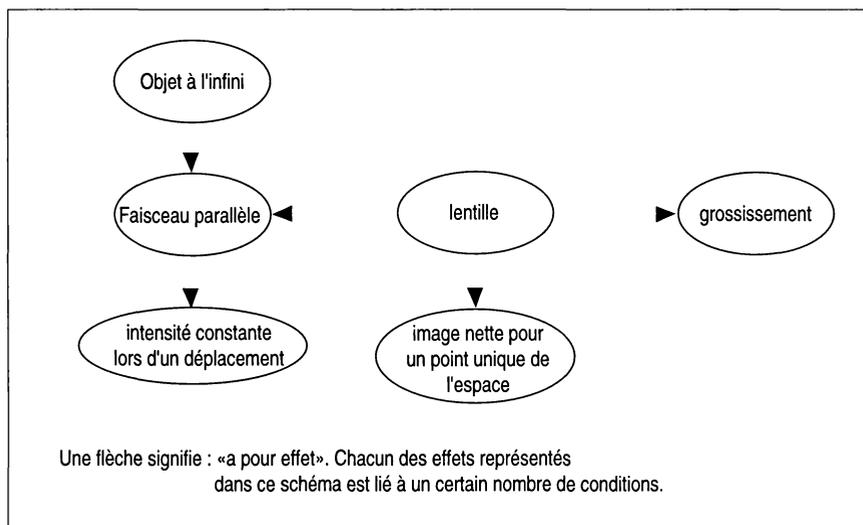


Figure 4 : Un réseau conceptuel autour du concept de lentille

4.3. L'acquisition de connaissances

Nous avons fait intervenir dans nos analyses le fait que les étudiants disposent, en plus des informations fournies par le photocopié, d'un ensemble de connaissances. Dans la littérature du traitement de l'information, cet ensemble a été souvent comparé à, et appelé une «*bibliothèque mentale*». On peut se demander ce que nos observations apportent aux questions suivantes, formulées dans le cadre de cette analogie.

Quel type de connaissances les étudiants ont-ils extrait de leur bibliothèque mentale ?

Quel type de connaissances ont-ils pu acquérir et emmagasiner dans leur bibliothèque mentale ?

Nous nous intéresserons d'abord à ce qu'il est possible d'appeler des connaissances pratiques, puis à des connaissances conceptuelles

4.3.1. Emmagasinier et utiliser des connaissances pratiques

On sait, d'après Richard (1990), que la mémorisation, lors de l'action, se fait de telle sorte que :

– une action donnée peut être désignée par un terme plus général et mémorisée comme telle. Ainsi un étudiant peut se souvenir qu'il a amplifié un signal, alors qu'il a changé de calibre. On s'aperçoit d'ailleurs que c'est souvent l'action sur l'appareil de mesures qui est privilégiée. Nous en avons vu d'autres exemples, quand un étudiant associait la fonction «grossir» à l'objet lentille (paragraphe 3.2.), ou se donnait des critères de jugement sur les signaux. Ainsi naissent des **règles** que nous avons vues réactivées lors de la manipulation. Ces règles sont indispensables à l'action. Cependant celles que nous avons décrites étaient plutôt sources d'impasses pour la manipulation ;

– la mémorisation est meilleure pour le résultat que pour les raisons (et donc le moyen) qui ont conduit au résultat. Un exemple est le cas de l'étudiant qui met un bloc de résine de 30 cm de long, en lieu et place du tube plein d'eau long d'un mètre (soit 30 cm de résine et 80 cm d'air, paragraphe 3.1.). Ayant réussi le processus de mesure pour le tube plein d'eau, l'étudiant mobilise l'information la plus immédiate et met la résine à la place de l'eau, sans se soucier du principe même de la mesure de **c** dans un matériau donné ;

– il existe des effets de typicalité pour les actions comme pour les concepts. Par exemple l'association privilégiée d'un instrument à une fonction peut être mémorisée comme telle et engendrer ce qui a été appelé des «**fixités fonctionnelles**» (Richard, 1990). Ainsi dans le cas des TP, nous avons vu que la compréhension des savoirs liés à un appareil ou d'un montage particulier, puis la mémorisation, étaient limitées à l'utilisation qui en avait été faite. C'est cette connaissance qui est alors activée dans un autre contexte, parce que l'étudiant a identifié des buts identiques dans les deux cas. Cela engendre des difficultés pour reconnaître une erreur éventuelle et mener à bien le diagnostic et le contrôle.

On assiste ainsi à la mémorisation puis à la mobilisation d'**actions prototypiques**. Certes elles peuvent être des connaissances pratiques, indispensables à la manipulation. Au contraire, celles que nous avons décrites sont des fixités fonctionnelles : nous en avons donné plusieurs exemples lors de l'identification d'un but (paragraphe 3.2.). Les **jugements prototypiques** sur le «bon» signal, que nous avons observés (paragraphe 3.3.), figurent aussi parmi les fixités fonctionnelles.

Ces actions et jugements prototypiques sont mobilisés par des étudiants, pour qui le réseau des actions peut être considéré comme extrêmement prégnant.

4.3.2. Emmagasinier et utiliser des connaissances conceptuelles

Nous n'avons pas cherché à traiter de ces deux problèmes. Comme nous l'avons rappelé dans l'introduction, ils ont été et sont toujours les objets de nombreuses recherches qui apportent des résultats importants à propos de la construction, par les étudiants, des réseaux conceptuels tels celui que nous avons représenté à la figure 4.

Nous n'avons pas non plus abordé directement le problème de l'interaction des deux types de réseaux qui nous ont servi à modéliser l'activité intellectuelle des étudiants : ceux des actions et ceux des concepts. Nous pouvons seulement affirmer qu'ils interagissent. Par exemple, quand les contrôles sur la mise en œuvre s'effectuent par la signification théorique du phénomène (paragraphe 3.5.), et non pas seulement par des critères de faisabilité, il y a interaction entre les deux types de réseaux. Nous avons cependant montré que ces interactions ont été peu fréquentes lors des observations bien particulières dont nous avons disposé. Nous avons vu évoluer les étudiants dans les réseaux d'actions que nous avons pu caractériser, et avoir une tendance à s'y enfermer.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous nous sommes attachés à caractériser les opérations intellectuelles qui fonctionnent lors de l'action, quand le but prépondérant du sujet est la «réussite» plutôt que la «compréhension» (cf la référence que nous avons faite à J. Piaget dans l'introduction). Ces opérations intellectuelles ont été d'ores et déjà étudiées par des psychologues pour des actions bien différentes de celles qui nous intéressent : les travaux pratiques de physique au début de l'université. Nous avons tenté de modéliser, spécifiquement pour ce contexte, ces opérations intellectuelles par deux types de réseaux, ceux des actions et ceux des concepts. L'objet de cet article était de faire une première proposition pour les réseaux des actions. Bien que nous n'ayons pu directement aborder le problème des interactions entre les deux réseaux, nous avons montré que, en TP, les étudiants s'enfermaient facilement dans des réseaux d'actions, évitant éventuellement de les piloter par les réseaux conceptuels.

De ce travail découlent au moins deux séries de questions didactiques.

Nous avons affirmé que, par les TP, les enseignants poursuivent des objectifs conceptuels (paragraphe 1.2.2.). L'activité pratique, si elle enferme les étudiants dans des réseaux d'actions, serait-elle un obstacle aux apprentissages conceptuels ? Ou alors faut-il faire l'hypothèse que, lors des TP, les étudiants emmagasinent des connaissances spécifiques,

pratiques ? Comment faire alors pour qu'elles ne soient pas des règles inadaptées, des fixités fonctionnelles ? Pour répondre à cette question, nous envisageons de poser les questions de recherche suivantes : étudier l'activité d'experts, leurs connaissances pratiques, comment ils les utilisent lors de manipulations, établir pour eux ce que nous avons appelé un réseau d'actions. C'est la suite de notre travail.

Au fil de notre étude, nous avons dû réserver une large place au guidage de l'activité que constitue le polycopié. Nous n'avons pas fait intervenir le guidage des enseignants qui, dans le contexte considéré, était faible. C'est d'ailleurs une situation fréquente en TP à l'université, mais il peut en être autrement. Pour continuer à explorer l'activité pratique des étudiants en TP, il faut se poser des questions à propos de :

– la forme et du contenu des textes des photocopiés. Des études sont vraisemblablement à mener sur la logique des textes – fonctionnement ou utilisation – ainsi que sur les niveaux d'information qui guident l'action et que nous avons évoqués au paragraphe 4.2. Dans ce domaine de l'analyse de textes, il est également possible de profiter de travaux de psychologues de la cognition concernant des activités nettement moins formalisées et modélisées. Des questions restent ouvertes de ce fait,

– l'intervention des enseignants quand elle existe, par exemple lors des introductions qui sont faites oralement en début de TP. Intuitivement, on sait que des enseignants, lors de ces introductions, tentent soit d'aider les étudiants à rentrer dans le réseau des actions pour qu'ils puissent mieux se situer dans les réseaux conceptuels, soit d'emblée de les situer dans les réseaux conceptuels, pour éviter qu'ils s'en écartent. Ces introductions orales ainsi que les interventions pendant toute la séance de TP restent à étudier.

Nous avons donc présenté une étude à son début. Les études que nous envisageons devraient déboucher sur une définition élargie des objectifs des travaux pratiques, ainsi que des suggestions pour améliorer l'acquisition de connaissances, que l'on se soit donné pour buts des connaissances pratiques ou conceptuelles.

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUFILS D., BLONDEL F.-M., LETOUZÉ J.-C. & GUILLON A. (1994). Datalogging and modelling of motion in physics learning. In *Proceedings of Calisce 1994*, pp. 313-320. Paris, ENS Télécom.
- BENEY M. & SÉRÉ M.-G. (1995). Essai de caractérisation et d'analyse des activités intellectuelles des étudiants en TP de DEUG. In *Actes du 5^{ème} séminaire national de didactique des sciences physiques*. Reims : Université de Reims – Champagne – Ardennes, pp. 87-105.
- BROUSSEAU (1986). Fondements et méthodes de la Didactique des Mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 7, n° 2, pp. 33-115.
- CHOMAT A., LARCHER C. & MÉHEUT M. (1992). Modèle particulaire et démarches de modélisation. In J.L. Martinand (Éd.) *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*, pp. 119-169. Paris, INRP.
- GANGOLI S.G., & GURUMURTHY C. (1995). A study of the effectiveness of a guided open-ended approach to students experiments *International Journal of Science Education*, vol. 17, n° 2, pp. 233-241.
- HACKMANN W.D. (1989). Scientific instruments : models of brass and aids to discovery . In D. Gooding, T. Pinch & S. Scheffer (Éds) *The uses of experiment* pp. 31-66. Cambridge University Press.
- KAMINSKI W. (1989). Conception des enfants (et des autres), sur la lumière. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 973-996.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris, Hachette-Éducation.
- PIAGET J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris, PUF.
- RICHARD J.-F. (1990). *Les activités mentales*. Paris, Armand Colin.
- SÉRÉ M.-G. (1994). Une analogie pour comprendre l'approche statistique des incertitudes en première année d'université. *Didaskalia*, n° 3, pp. 27-42.
- TIBERGHEN A. (1994). Modelling as a basis for analysing teaching-learning situations . *Learning and Instruction*, vol. 4, n° 1, pp. 71-87.

Ce travail a bénéficié du soutien du projet européen «**Labwork in Science Education**» (contrat SOE2 CT95 2001) financé par la Direction Générale XII de la Commission Européenne.

Au sein de ce projet, il a bénéficié d'échanges approfondis avec le professeur Robin Millar, Université d'York (Grande Bretagne).

La construction des sciences physiques par les représentations et les erreurs : cas des phénomènes magnétiques

Abdeljalil MAAROUF

École Normale Supérieure
B.P. S.41
Marrakech, Maroc.

Salah BENYAMNA

École Normale Supérieure
Av. Oued Akreuch, B.P. 5118
Rabat, Maroc.

Résumé

Cet article présente une étude qui vise à élucider les causes qui peuvent expliquer les difficultés éprouvées par les élèves marocains âgés de 13 à 20 ans dans leur apprentissage du magnétisme. L'analyse et l'interprétation des discours des élèves relatifs à l'explication de phénomènes magnétiques ont permis, d'une part, de reconstruire les représentations qui fondent ces discours, d'autre part de rechercher les liens qui pourraient exister entre ces représentations et les difficultés d'apprentissage du magnétisme .

Mots clés : *phénomène magnétique, apprentissage, représentation, système explicatif, mode de savoir.*

Abstract

This article presents a study that aims to elucidate the causes that could explain the difficulties revealed by moroccan students aged between 13 and 20 in their learning of magnetism. The analysis and interpretation of students' speeches related to the explanation of the magnetic phenomena have permitted us to reconstruct the representations on which these speeches are based and to research the links that may exist between these representations and the difficulties of learning magnetism.

Key words : *magnetic phenomenon, learning, representation, explanatory system, mode of knowledge.*

Resumen

Este artículo presenta un estudio que tiene como objetivo elucidar las causas que pueden explicar las dificultades reveladas por los alumnos Marroquies, cuyas edades están comprendidas entre 13 y 20 años, dentro del aprendizaje del magnetismo. El análisis y la interpretación de los discursos de los alumnos relativos a la explicación de fenómenos magnéticos, ha permitido por una parte, reconstruir las representaciones sobre las cuales estos discursos están basados ; y por otra parte, buscar los nexos que podrían existir entre estas representaciones y las dificultades de aprendizaje del magnetismo.

Palabras claves : *fenómeno magnético, aprendizaje, representación, sistema explicativo, modo de saber.*

INTRODUCTION

Au cours de la dernière décennie plusieurs essais de rénovation de l'enseignement des sciences physiques ont vu le jour. Axés principalement sur un remodelage de l'organisation séquentielle des contenus et non sur les difficultés éprouvées par les élèves dans leur apprentissage des sciences physiques, ces essais ont montré leurs limites.

Le programme de recherche portant sur les conceptions spontanées (Pfundt & Duit, 1991) qui a, en quelque sorte, pris au sérieux non seulement ce que les élèves savent déjà au moment où ils abordent l'étude des sciences mais aussi, comment ils le savent, éclaire d'un jour nouveau les problèmes liés à l'apprentissage des sciences.

En effet, avant que ce programme ne soit amorcé au début des années soixante-dix, quand l'accent est mis sur ce que l'élève savait déjà, c'est en termes de prérequis que cela est fait. Dans la pratique d'enseignement/

apprentissage on n'a jamais posé de questions sur la façon selon laquelle ce savoir est structuré ni sur ses significations.

C'est pourquoi la présente étude (Maarouf, 1994) s'est appuyée sur le concept de représentation pour donner sens aux difficultés rencontrées par les élèves marocains dans leur apprentissage des phénomènes magnétiques au lieu de considérer ces difficultés comme de simples accidents de parcours. Ainsi, l'objectif principal est de répondre aux deux questions :

– quelles représentations se font les élèves de 13 à 20 ans de quelques phénomènes magnétiques ?

– comment évoluent ces représentations lorsqu'ils avancent dans l'apprentissage du magnétisme ?

1. POURQUOI LES PHÉNOMÈNES MAGNÉTIQUES ?

Avant de répondre à cette question, il convient de souligner que l'utilisation des représentations dans l'explication des phénomènes physiques ne relèvent pas que du seul domaine du magnétisme. Au contraire, la littérature est riche en exemples où cette notion est largement utilisée dans d'autres domaines tels que la mécanique, l'électricité, l'optique, etc. (Clément, 1982 ; Closset, 1983, 1989 ; Shipstone et al., 1988 ; Osborne et al., 1993).

Le choix de ce domaine relève d'un certain nombre d'observations et d'analyses portant sur les difficultés rencontrées par les élèves dans leur apprentissage des phénomènes magnétiques. Nous pouvons citer les difficultés qui sont dues au fait que l'étude de ces phénomènes fait intervenir plusieurs concepts physiques différents : par exemple, l'étude de l'interaction magnétique fait intervenir les concepts de force, de vitesse, de courant et de champ. Et on s'attend à ce que les élèves rencontrent beaucoup de difficultés à manipuler en même temps ces différents concepts et à choisir ceux qui conviennent à l'explication d'une situation problématique donnée. S'ajoutent à ces difficultés celles dues à l'utilisation d'un formalisme mathématique poussé. Par exemple, l'étude des forces de Laplace et de Lorentz, au niveau de l'enseignement secondaire, fait intervenir le produit vectoriel avec lequel les élèves sont peu familiarisés. D'autres difficultés proviennent de l'étude des phénomènes magnétiques en tant que représentation spatiale. Par exemple, les élèves ont beaucoup de mal à placer sur un schéma la force de Laplace même lorsqu'ils disposent de techniques simples (règles du tire-bouchon, des trois doigts, du bonhomme d'Ampère, etc.)

2. POURQUOI LES REPRÉSENTATIONS ?

Inscrire cette étude dans la problématique des représentations revient à donner sens aux difficultés éprouvées par les élèves dans leur apprentissage des sciences en les reliant à ce qu'ils savent déjà et en cherchant à savoir comment ils mobilisent ces savoirs pour produire des explications. Il a été largement démontré qu'il n'est plus possible de considérer l'élève comme un "réceptacle passif" dans lequel l'enseignant déverse des savoirs préfabriqués ou comme une marionnette cognitive soumise aux aléas des *stimuli* fournis par l'environnement. En toute occasion, comme le souligne Ullmo (1967), «*nous ne pouvons même pas sentir ou percevoir sans y apporter de nous-même, de notre acquis. La pensée ne se laisse jamais éliminer. Ceci, qui va de soi en physique, se démontre aussi bien dans toute activité scientifique*». Et cela s'applique aussi à l'élève dans son apprentissage des sciences.

Nous aurons certes à montrer, par la suite, qu'il en est bien ainsi mais pour l'instant un exemple suffira. Benyamna (1987) a montré, lors d'une recherche, que, malgré un enseignement long en physique, les élèves interprètent les phénomènes liés au concept de chaleur comme s'il existait une substance «chaleur», ce qui les conduit à des impasses intellectuelles importantes. Autrement dit, les élèves ont intégré le terme chaleur à l'aide des représentations substantialistes qu'ils avaient élaborées avant tout enseignement de la physique.

Il est surprenant de constater que le magnétisme, à l'instar du reste des sciences physiques, présente, aux élèves, plusieurs difficultés d'apprentissage alors qu'il n'est pas autant étudié par les chercheurs, sur le plan des représentations, que les autres domaines de la physique comme l'électricité et la mécanique, par exemple. Cependant, les mêmes arguments qui ont conduit à l'étude des représentations des élèves à propos des phénomènes naturels en général restent valables, à notre avis, dans le cas où ces phénomènes relèvent du domaine du magnétisme.

3. LE CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Le déroulement de l'investigation s'est passé en deux phases. La première, dite de pré-expérimentation, a servi à la mise à l'épreuve de la méthode suivie dans la collecte des données et à ajuster les instruments adoptés à cette fin. La deuxième phase, dite d'expérimentation, a eu pour objectif la collecte et l'analyse des données relatives à l'explication de quatre phénomènes magnétiques : l'aimantation, la désaimantation, l'interaction magnétique, l'induction électromagnétique. **Seuls les résultats de l'expérimentation seront présentés dans cet article.**

Des épreuves écrites et des entretiens non directifs ont été utilisés pour collecter les données auprès de quatre groupes d'élèves de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire.

Les caractéristiques identifiant les quatres groupes sont résumées dans le tableau 1.

Groupe	Niveau scolaire	Âge	État d'avancement de l'enseignement sur le magnétisme	Nombre d'élèves qui ont participé aux épreuves écrites	Nombre d'élèves qui ont participé aux entretiens non directifs
G1	Huitième année Fondamentale	de 13 à 15 ans	Aucun enseignement sur le magnétisme	10	5
G2	Neuvième année Fondamentale	de 14 à 16 ans	Premier enseignement sur le magnétisme	10	5
G3	Deuxième année Secondaire	de 16 à 18 ans	Deuxième enseignement sur le magnétisme	10	5
G4	Troisième année Secondaire	de 17 à 20 ans	Troisième enseignement sur le magnétisme	10	5

Tableau 1 : **Caractéristiques des groupes d'élèves qui ont participé aux épreuves écrites et aux entretiens**

Selon les inspecteurs chargés de l'élaboration des programmes de sciences physiques, les modèles présentés aux élèves sont repris et complétés, suivant une démarche en spirale, chaque fois que l'on passe d'un niveau au niveau supérieur. C'est ainsi qu'en neuvième année de l'enseignement fondamental, l'enseignement du magnétisme est réduit à une description sommaire des phénomènes d'aimantation (aimantation d'un corps par un aimant ou par un courant électrique) et des phénomènes d'interaction entre les corps aimantés – cette description est souvent présentée sous forme magistrale et illustrée quand cela est possible par des expériences réalisées par l'enseignant.

Au cours de la deuxième année secondaire, l'étude de ces mêmes phénomènes est fondée sur un modèle faisant intervenir des concepts, nouveaux pour les élèves, tels que ceux de champ magnétique, de force de Lorentz et de force de Laplace. En troisième année secondaire, le même modèle est complété par l'introduction des phénomènes d'induction électromagnétique.

Pour avoir des informations sur la façon dont les élèves expliquent les phénomènes magnétiques, nous avons construit sept situations expérimentales qui mettent en évidence les quatre phénomènes objets d'étude. Chaque situation présente un certain nombre d'expériences de telle façon que chaque phénomène soit mis en évidence par plusieurs expériences à la fois. Par exemple, le phénomène de désaimantation est mis en évidence par l'expérience 2 de la situation 2, par l'expérience 2 de la situation 3 et par l'expérience 2 de la situation 6.

Ces croisements nous ont permis des comparaisons entre les explications élaborées par les élèves à propos de chaque phénomène étudié dans des situations différentes.

Chaque situation est présentée à l'élève qui commence par observer ce qui se passe devant lui. Ensuite, on lui demande de décrire ce qu'il a observé. Enfin, il prend le temps nécessaire pour expliquer ce qu'il a observé et décrit auparavant. Cette même démarche est reprise lors du passage d'une expérience à l'autre à l'intérieur d'une même situation. A chaque situation correspond une épreuve écrite. Au total, sept épreuves écrites ont été administrées.

La figure 1 présente un exemple d'épreuve écrite : celui correspondant à la situation 2 ; les autres situations se trouvent en annexe.

Expérience 1 : Nous mettons en contact respectivement chacune des quatre tiges avec l'aimant et nous approchons les tiges des petits clous en fer.

Expérience 2 : Nous retirons l'aimant pour les quatre tiges :

Les questions à poser :

- Décrire ce que vous avez observé dans chaque expérience.
- Expliquer le phénomène mis en évidence par chaque expérience.

Figure 1 : Situation 2 qui correspond à la deuxième épreuve écrite

Dans les feuilles que nous avons distribuées aux élèves, pour chaque expérience, il y a une partie réservée à la description des observations et une deuxième partie aux explications (voir figure 2).

Situation 2	
Expérience 1 :	
	Description des observations :

	Explication :

Expérience 2 :	
	Description des observations :

	Explication :

Figure 2 : **Feuille 2 réservée à la situation 2 (pour répondre à l'épreuve écrite 2)**

Les épreuves écrites ont été suivies de vingt entretiens non directifs concernant les sept situations qui ont fait l'objet des épreuves écrites. Ces entretiens ont été réalisés individuellement avec des élèves choisis, dans chaque groupe, parmi ceux qui ont participé aux épreuves écrites et qui ont manifesté un certain intérêt pour cette recherche (cinq élèves par groupe). Ils ont permis d'amener ces élèves à expliciter leurs discours, et nous avons pu saisir le dynamisme de leur pensée.

C'est ainsi, que, pour chaque expérience, et pour démarrer l'entretien, nous avons posé une question d'ordre général qui restait au niveau de l'observé. Par exemple, pour l'expérience 2 de la situation 2, nous avons posé, à chaque élève, la question «*pourquoi, à ton avis, lorsqu'on éloigne l'aimant la tige d'acier attire toujours les clous contrairement à la tige de fer doux ?*»

Les questions qui ont suivi dépendaient des réponses de l'interviewé à la question de départ et se sont rapportées, particulièrement, aux

significations que l'élève donne à certaines notions et explications utilisées dans son discours. À ce propos, nous avons posé des questions telles que :

- «*Que signifie, pour toi, "propriété de l'aimant" ?*»
- «*Que veux-tu dire par "disparition de la propriété de l'aimant" ?*»

Chaque entretien, réalisé sous forme d'une séance d'une heure environ, a été enregistré puis transcrit.

4. LES RÉSULTATS

L'analyse des données recueillies lors de la passation des épreuves écrites et lors des entretiens, nous a permis de construire quatre types de représentations. La première se fait en termes de passage de «*quelque chose*» d'un agent (source du champ magnétique, source de tension, circuit) à un patient (objet à aimanter, circuit). C'est ce que nous avons appelé une *représentation causale linéaire* (Tiberghien & Delacôte, 1976 ; Rozier, 1987). La deuxième se fait en termes de perte de «*quelque chose*» par les corps manipulés. Nous l'avons appelée représentation de restitution. La troisième fait intervenir la localisation de quelque chose ; alors que la quatrième mobilise le déplacement de particules dans les corps manipulés.

La représentation causale linéaire fonde les discours des élèves des quatre groupes et concerne les quatre phénomènes objets d'étude. Cependant, les propriétés attribuées au médiateur (intermédiaire entre l'agent et le patient) changent d'un groupe à l'autre et parfois d'un élève à l'autre dans un même groupe.

La plupart des élèves (9/10) du premier groupe (G1) considèrent le médiateur comme ayant un aspect abstrait en utilisant les notions de «force» et «d'énergie». C'est ainsi que les explications fournies attribuent au magnétisme des caractéristiques abstraites qui peuvent circuler dans un corps, dans un circuit, ou passer d'un corps à un autre. Par exemple, dans le cas du phénomène d'aimantation, les élèves estiment que :

«*Il y a passage de cette force d'attraction de l'aimant à la tige d'acier [...] il y a déplacement de la force d'attraction à travers toute la tige d'acier et à ce moment l'autre extrémité peut attirer les clous.*» (Élève de G1)

«*On peut dire que l'acier est un corps qui gagne une partie de l'énergie de l'aimant.*» (Un autre élève de G1)

En ce qui concerne les élèves du deuxième groupe (G2) et du troisième groupe (G3), certains d'entre eux (3/10 pour chaque groupe)

considèrent le médiateur de la même façon que les élèves du groupe G1 mais en utilisant d'autres appellations telles que «*propriété de l'aimant*», «*aimantation*», etc.

«*La tige d'acier a gagné la propriété de l'aimant.* » (Élève de G2)

«*C'est la tige d'acier qui gagne une aimantation puisqu'elle attire les clous.*» (Élève de G3)

Par contre d'autres élèves de G2 (4/10) identifient le médiateur à une forme de la matière : «*électrons*», «*ions*», «*constituants*», ou «*matière magnétique*». Selon ces élèves, l'aimant est constitué d'une matière qui lui permet d'avoir certaines propriétés telles que le pouvoir d'attirer certains objets. Quand cette matière est gagnée par un corps, ce dernier acquiert les propriétés de l'aimant comme l'illustre l'explication suivante :

«*Il y a échange de constituants, la tige d'acier reçoit des constituants provenant de l'aimant et elle devient aimantée c'est-à-dire capable d'attirer comme si elle est devenue un aimant[...] Ces constituants peuvent être une matière naturelle qui attire les clous.*» (Élève de G2)

De même, certains élèves du troisième groupe (5/10) comme ceux du quatrième groupe (10/10) attribuent aussi un aspect matériel au médiateur en l'identifiant uniquement à des porteurs de charges électriques. Pour ces élèves, la présence de deux corps, l'un à côté de l'autre, suffit pour que les porteurs de charges passent de l'un à l'autre – une sorte de mouvement spontané du magnétisme. Ces élèves semblent considérer que certains corps émettent des porteurs de charges dès que certains objets se trouvent dans leur voisinage.

«*De l'aimant à la tige passe une charge positive et de la tige d'acier à l'aimant passent des charges négatives [...] la tige d'acier devient chargée avec une charge positive.*» (Élève de G3)

La représentation de restitution ne concerne que le phénomène de désaimantation. Elle se rencontre chez les élèves des quatre groupes. Cependant, les propriétés attribuées à la chose perdue changent d'un groupe à l'autre ou d'un élève à l'autre au sein du même groupe.

Pour les élèves du premier groupe (7/10), la chose perdue a un aspect abstrait et prend les appellations «*force*» et «*énergie*» :

«*Lorsqu'on retire l'aimant, les clous tombent et la force disparaît.*» (Élève de G1)

De même, certains élèves des trois autres groupes (3/10 pour G2, 4/10 pour G3 et 3/10 pour G4), donnent aussi un aspect abstrait à la chose perdue en utilisant d'autres notions telles que : «*propriété de l'aimant*», «*force magnétique*», «*propriété d'aimantation*», etc.

«Pour le fer, il perd la propriété d'aimantation dès qu'on retire l'aimant.»
(Élève de G2)

«Le fer gagne cette propriété d'aimantation d'une façon temporaire, c'est-à-dire il perd cette propriété dès que le circuit s'ouvre.» (Élève de G3)

«Pour le fer, les clous tombent dès qu'on retire l'aimant, c'est-à-dire il y a disparition de la propriété de l'aimant.» (Élève de G4)

Par contre, d'autres élèves de ces trois groupes (4/10 pour G2, 3/10 pour G3 et 6/10 pour G4) attribuent un aspect matériel à la chose perdue en recourant à différentes appellations : «*constituants*», «*électrons*», «*charges électriques*», etc.

«La tige d'acier garde son aimantation, c'est-à-dire elle garde toujours les constituants provenant de l'aimant tandis que la tige de fer les perd lorsqu'on éloigne la tige du champ magnétique.» (Élève de G2)

«Lorsqu'on ouvre le circuit la tige de fer a perdu les électrons qu'il a reçus de la pile, mais la tige d'acier attire toujours les clous car elle garde les électrons reçus de la pile.» (Élève de G4)

Quant à la représentation qui fait intervenir la localisation, elle fonde particulièrement les discours des élèves des quatre groupes au niveau du phénomène d'interaction magnétique. Cette représentation consiste à attribuer au magnétisme le statut d'une chose abstraite ou d'une substance se localisant dans des endroits précis des corps manipulés. La chose en question est tantôt appelée «*force*», tantôt désignée comme une «*matière de l'aimant*». Parfois, elle est identifiée à des porteurs de charges électriques.

Pour les élèves du premier groupe (5/10), cette «*chose*» est appelée «*force*». Cette dernière est localisée à un endroit donné du corps (Viennot, 1979) et conservée pour une éventuelle utilisation.

«J'explique cette expérience [attraction entre l'aiguille aimantée et le barreau de fer] par le fait que l'aimant laisse une force dans l'aiguille pour un certain temps, ce qui permet au fer d'attirer l'aiguille parce que la force se trouve toujours dans l'aiguille.» (Élève de G1)

Les élèves du deuxième groupe (7/10) parlent souvent de charges électriques et parfois de constituants tout court. Ces charges et ces constituants sont localisés dans les extrémités des corps et leur nature diffère d'une extrémité à l'autre dans un même corps (une distinction qui explique l'existence de deux pôles) :

«La cause de l'attraction [entre le pôle Nord et le pôle Sud] est la différence qui existe entre les constituants [...] On sait que deux extrémités ayant des constituants identiques se repoussent.» (Élève de G2)

« Il y a attraction [entre l'aimant et la bobine], donc l'une des extrémités de l'aimant contient les mêmes électrons que ceux qui se trouvent dans la bobine, c'est pourquoi il y a attraction entre les deux. » (Un autre élève de G2)

Quant aux élèves du troisième et du quatrième groupe (respectivement 5/10 et 8/10), ils utilisent les notions de porteurs de charges électriques pour expliquer les phénomènes magnétiques étudiés. Dans le cas de l'interaction magnétique, ils localisent ces porteurs dans les extrémités des corps. Selon eux, les deux extrémités d'un corps possèdent des porteurs de charges électriques de signes opposés. Les extraits d'explications qui suivent l'illustrent d'une façon claire :

« La cause de la répulsion est que les deux extrémités ont la même charge électrique [...] la répulsion est due à des charges qui sont identiques et l'attraction à des charges qui sont opposées. » (Élève de G3)

« Il y a des charges négatives dans la bobine parce que on sait qu'elle est chargée par les électrons et on sait que la charge des électrons est négative. Donc lorsqu'on approche la bobine de l'aimant, il y a attraction parce que l'aimant contient des charges positives. » (Un élève de G4)

Enfin, la représentation substantialiste faisant intervenir le déplacement de particules dans les corps manipulés n'est pas dominante et ne sous-tend que les discours de quelques élèves du troisième et du quatrième groupe (respectivement 3/10 et 2/10). Conformément à cette représentation, les phénomènes magnétiques sont dûs au mouvement des électrons ou des ions dans un corps donné. Ce type d'argument concerne surtout les phénomènes d'aimantation et de désaimantation.

Pour expliquer le phénomène d'aimantation, certains élèves des groupes G3 et G4 parlent de déplacement d'électrons au sein des corps comme l'illustrent les citations suivantes :

« On peut expliquer ceci par le déplacement des électrons aimantés dans les tiges d'acier et de fer. » (Élève de G4)

« Comme les électrons se déplacent rapidement et sont libres, ils reviennent rapidement pour combler des endroits vides, c'est pourquoi les clous tombent. » (Élève de G3)

« Il [le fer] est capable de revenir à son équilibre électrostatique, c'est-à-dire les électrons reviennent à leurs places initiales avec une grande vitesse. » (Élève de G4)

5. QUELQUES REMARQUES

L'examen des représentations décrites ci-dessus permet de remarquer que certains aspects ne changent pas alors que d'autres changent lorsqu'on passe d'un groupe d'élèves à un autre plus avancé en sciences physiques. À l'exception de la représentation substantialiste faisant intervenir le mouvement de particules au sein des corps manipulés qui se retrouve seulement chez les élèves des troisième et quatrième groupes, les autres représentations sont partagées par l'ensemble des élèves des quatre groupes.

Ces représentations sont substantialistes pour certains élèves mais pas pour d'autres. C'est pourquoi les propriétés, attribuées à la « chose » utilisée dans ces représentations selon des descriptions diverses (passage d'un corps à un autre, perte par un corps, localisation dans un corps), changent d'un groupe à l'autre et, parfois, d'un élève à l'autre dans un même groupe.

En plus, nous avons constaté que la présence de l'aspect abstrait s'amenuise dès le deuxième groupe, alors que la présence de l'aspect matériel gagne du terrain. Une interprétation possible serait l'influence de l'enseignement qui introduit des notions nouvelles comme ; « ion », « électron » etc., sans préciser clairement que « la notion de particule résulte d'une construction intellectuelle et se démarque nettement de l'idée de chose ou de substance matérielle. » (Benyamna et al., 1993, p. 73).

CONCLUSION ET DISCUSSION

À la question "pourquoi les élèves rencontrent-ils des difficultés dans la compréhension des phénomènes magnétiques ?" la présente étude permet de répondre partiellement ainsi : parce qu'ils se sont faits des représentations de ces phénomènes qui diffèrent de celles véhiculées par les modèles scientifiques.

Il semble donc que les élèves abordent l'apprentissage des phénomènes magnétiques avec des représentations construites avant et/ou pendant l'enseignement des sciences. En d'autres termes, les élèves ont construit un système explicatif capable d'interpréter les phénomènes observés au même titre que le font les physiciens lorsqu'ils élaborent une théorie scientifique explicative donnée. Et, comme tout système explicatif, les représentations constituent un instrument de sélection, d'analyse, et d'interprétation des messages qui seraient plus compatibles avec ces représentations. Le système explicatif construit par les élèves est d'autant plus important qu'il se retrouve chez plusieurs générations d'élèves (ou plusieurs niveaux différents).

Ce système n'a rien à voir avec le monde des relations et des modèles, c'est-à-dire le savoir scientifique. C'est pourquoi les élèves éprouvent d'énormes difficultés lors de l'utilisation de relations et de modèles spécifiques aux phénomènes magnétiques (construction de relations entre concepts, utilisation du formalisme mathématique, etc.)

Donc, au niveau des représentations construites, il semble que les élèves ne différencient pas les deux modes de savoir : le savoir scientifique et le savoir commun. Et comme le soulignaient Désautels et Larochelle (1992, p.3), les élèves «*appréhendent les phénomènes, les concepts et les mécanismes selon leurs habitudes d'interprétation, comme s'il s'agissait des phénomènes, concepts et mécanismes du savoir commun, sans égard pour la nature et les finalités particulières des savoirs en cause.*»

Ces résultats nous autorisent à interroger les conditions dans lesquelles se fait l'éducation à la science. Le manuel scolaire, par son statut d'instrument d'enseignement et d'apprentissage des sciences physiques, largement utilisé par les élèves et les enseignants, ne laisse pratiquement pas de place aux représentations. C'est dire combien le discours scientifique d'enseignement continue à ignorer les conditions même de sa réception.

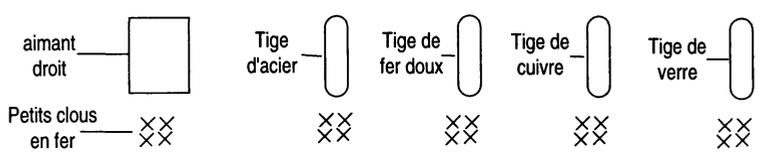
BIBLIOGRAPHIE

- BENYAMNAS. (1987). *La prégnance du modèle particulière dans les représentations d'étudiants en sciences à l'égard des phénomènes naturels*. Thèse de doctorat non publiée, Québec, Université Laval.
- BENYAMNA S., DÉSAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1993). Du concept à la chose : la notion de particule dans les propos d'étudiants à l'égard de phénomènes physiques. *Revue canadienne de l'éducation*, vol. 18, n°1, pp. 62-78.
- CLEMENT J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of physics*, vol. 50, n°1, pp.66-70.
- CLOSSET J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de doctorat non publiée, Paris, Université Paris 7.
- CLOSSET J.-L. (1989). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 391-950.
- DÉSAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1992). *Autour de l'idée de science : Itinéraires cognitifs d'étudiants et d'étudiantes*. Québec, Presses de l'Université Laval.
- MAAROUF A. (1994). *Étude didactique de quelques phénomènes magnétiques : Représentations et Analogies*. Thèse de troisième cycle non publiée, Rabat, École Normale Supérieure.
- OSBORNE J.-F., BLACK P., MEADOWS J. & SMITH M. (1993). Young children's (7-11) ideas about light and their development. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n°1, pp. 83-93.
- PFUNDT H. & DUIT R. (1991). Bibliography : *Students' alternative frameworks and science education*. Kiel, Institute of Science Education.
- ROZIER S. (1987). *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire*. Thèse de doctorat, Paris, Université Paris 7.

- SHIPSTONE D-M., RHONECK C-V., JUNG W., KARRQVIST C., DUPIN J.-J., JOHSUA S. & LICHT P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 3, pp. 303-316.
- TIBERGHEN A. & DELACÔTE G. (1976). Manipulations et représentations des circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, n° 34, pp. 32-44.
- ULLMO J. (1967). Les concepts physiques. In J. Piaget (Dir.), *Logique et connaissance scientifique*. Paris, Gallimard, pp. 623-705.
- VIENNOT L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris, Hermann.

ANNEXE

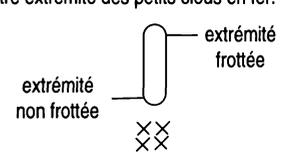
Expérience 1 : Nous rapprochons respectivement des petits clous : l'aimant droit, la tige d'acier, la tige de fer doux, la tige de cuivre et la tige de verre.



Expérience 2 : Nous frottons chacune des quatre tiges avec l'aimant et nous les approchons successivement des petits clous en fer.



Expérience 3 : Nous frottons l'une des extrémités d'une nouvelle tige en acier avec l'aimant et nous approchons l'autre extrémité des petits clous en fer.

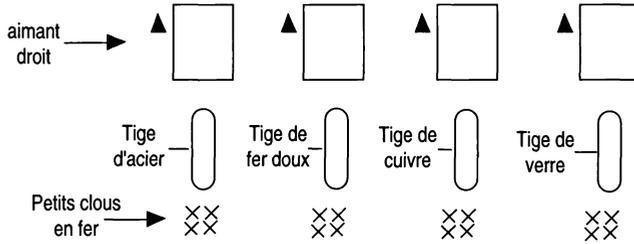


Les questions posées aux élèves :

- Décrire ce que vous avez observé dans chaque expérience.
- Expliquer le phénomène mis en évidence par chaque expérience.

Situation 1 : Qui correspond à la première épreuve écrite

Expérience 1 : Nous rapprochons l'aimant de chacune des quatre tiges sans qu'il y ait contact et nous approchons en même temps chacune des tiges des petits clous en fer.



Expérience 2 : Nous éloignons l'aimant de chacune des quatre tiges :

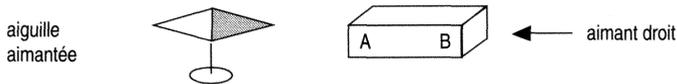


Les questions posées aux élèves :

- Décrire ce que vous avez observé dans chaque expérience.
- Expliquer le phénomène mis en évidence par chaque expérience.

Situation 3 : Qui correspond à la troisième épreuve écrite

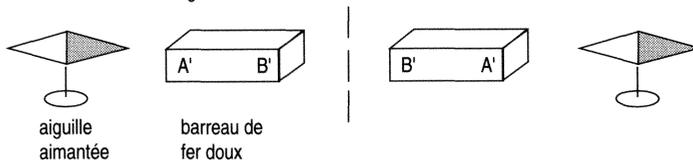
Expérience 1 : Nous rapprochons l'extrémité de l'aimant droit d'une extrémité de l'aiguille aimantée.



Expérience 2 : Après, nous approchons la même extrémité de l'aimant droit de l'autre extrémité de l'aiguille aimantée :



Expérience 3 : Nous approchons la même extrémité d'un barreau de fer doux des deux extrémités de l'aiguille aimantée :

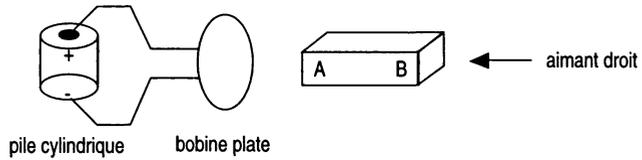


Les questions posées aux élèves :

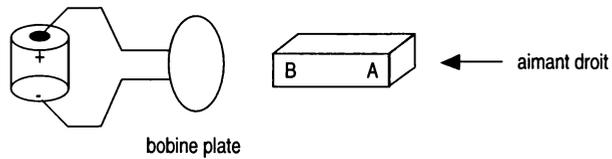
- Décrire ce que vous avez observé dans chaque expérience.
- Expliquer le phénomène mis en évidence par chaque expérience.

Situation 4 : Qui correspond à la quatrième épreuve écrite

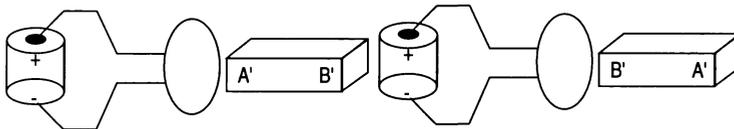
Expérience 1 : Nous approchons une extrémité de l'aimant droit de la bobine parcourue par un courant électrique :



Expérience 2 : Après, nous approchons l'autre extrémité de l'aimant de la bobine en gardant le même branchement sur la pile :



Expérience 3 : Nous approchons les deux extrémités du barreau de fer doux de la bobine parcourue par un courant électrique :

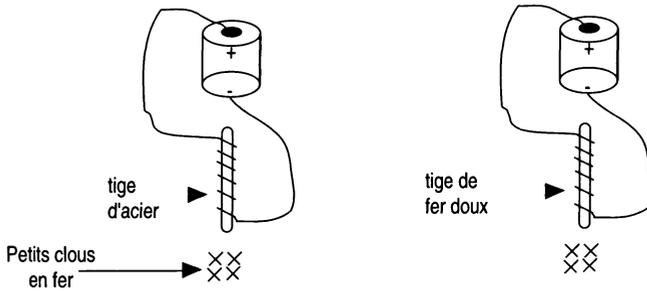


Les questions posées aux élèves :

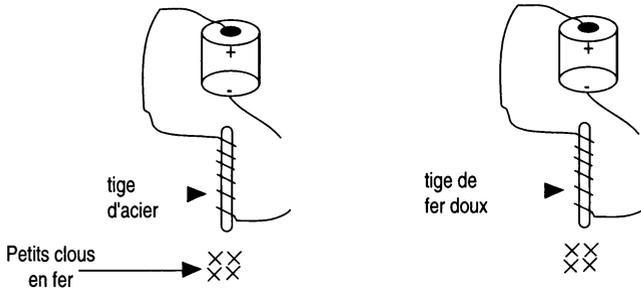
- Décrire ce que vous avez observé dans chaque expérience.
- Expliquer le phénomène mis en évidence par chaque expérience.

Situation 5 : **Qui correspond à la cinquième épreuve écrite**

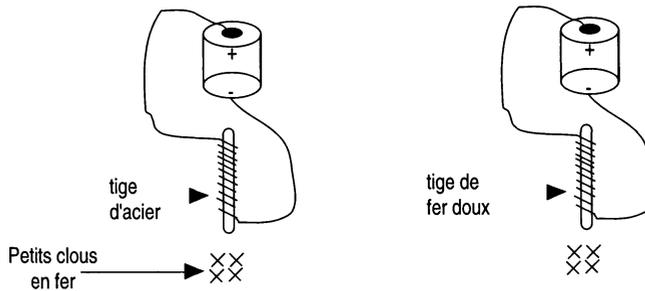
Expérience 1 : Nous enroulons le fil isolé parcouru par un courant électrique sur chacune des deux tiges puis nous approchons l'une des extrémités des deux tiges des petits clous en fer.



Expérience 2 : Nous ouvrons le circuit dans chaque cas.



Expérience 3 : Nous augmentons le nombre de spires pour les deux tiges.

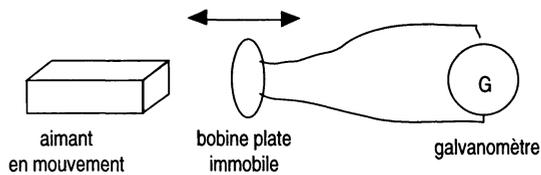


Les questions posées aux élèves :

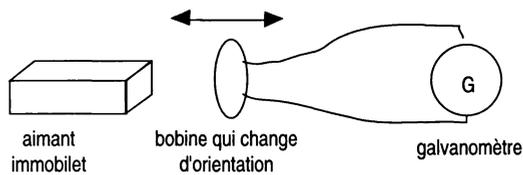
- Décrire ce que vous avez observé dans chaque expérience.
- Expliquer le phénomène mis en évidence par chaque expérience.

Situation 6 : Qui correspond à la sixième épreuve écrite

Expérience 1 : Nous mettons l'aimant en mouvement devant la bobine branchée au galvanomètre.



Expérience 2 : Nous changeons l'orientation de la bobine devant l'aimant qui est immobile.



Les questions posées aux élèves :

- Décrire ce que vous avez observé dans chaque expérience.
- Expliquer le phénomène mis en évidence par chaque expérience.

Situation 7 : Qui correspond à la septième épreuve écrite

Une démarche pour élaborer des panneaux de préfiguration d'une exposition sur les biotechnologies de la reproduction bovine

Laurence SIMONNEAUX

École Nationale de Formation Agronomique
BP 87
31326 Castanet-Tolosan cedex, France.

Résumé

Cette recherche concerne l'élaboration de panneaux de préfiguration scriptovisuels d'une exposition scientifique sur les biotechnologies de la reproduction bovine, en particulier sur le clonage. S'inscrivant dans une tentative d'épistémologie critique, l'analyse de l'histoire de la construction des savoirs étaye le choix des connaissances à présenter. Une fois le message défini, convaincue que l'énonciation dévoile la stratégie du scripteur, nous pesons nos choix langagiers, au service des intentions poursuivies, à partir de l'analyse linguistique d'une série de documents de vulgarisation.

Mots clés : *biotechnologie, clonage, choix de références, choix énonciatifs, didactique.*

Abstract

This research is based on the elaboration of scriptovisual exhibits for a scientific exhibition on bovine reproduction biotechnologies, in particular on cloning. An epistemological analysis of biotechnologies knowledge helps us to choose the contents to present. As soon as contents and intentions have been decided, the

message becomes clearer. Thus, linguistic choices are needed because statements betray the scriptor's strategy. To support linguistic choices, we have done a formal linguistic analysis on several documents of popularizing biotechnologies.

Key words : *biotechnologies, cloning, choice of references, linguistic choices, education.*

Resumen

Esta investigación está basada en la elaboración de carteleras de prefiguración scriptovisuales de una exposición científica sobre las biotecnologías de la reproducción bovina, en particular sobre el clonaje. La misma se inscribe en una tentativa de epistemología crítica, el análisis de la historia de la construcción de saberes ayuda a la selección de los conocimientos a presentar. Una vez que el mensaje está definido, convencidos que la enunciación revela la estrategia del scriptor, nosotros examinamos nuestra selección lingüística, en función de las intenciones perseguidas, a partir del análisis lingüístico de una serie de documentos de vulgarización.

Palabras claves : *biotecnología, clonaje, selección de referencia, selección enunciativa, didáctica.*

INTRODUCTION

Dans cette recherche, nous nous sommes intéressée aux biotechnologies de la reproduction bovine, et en particulier au clonage, d'une part parce qu'il s'agit d'une biotechnologie qui se situe sur le front de la recherche, (c'est un objet de savoir non stabilisé), et d'autre part parce qu'il s'agit d'un thème porteur de débats sur son rôle et sur le contrôle qui doit lui être appliqué, voire même sur l'éventualité de son utilisation chez l'homme.

Dans les biotechnologies, sciences et techniques se rencontrent pour transformer le vivant au service des besoins de l'homme. Les développements biotechnologiques peuvent avoir des répercussions variées, positives et/ou négatives, dans différents domaines (professionnel, économique, écologique, politique, éthique, juridique, etc.), prévisibles ou imprévisibles, contrôlables ou incontrôlables. Les savoirs biotechnologiques intègrent des savoirs scientifiques nombreux et hors de la portée des profanes. Les répercussions des biotechnologies ne peuvent être appréhendées avec certitude ; une évaluation fiable de celles-ci supposerait une maîtrise pluridisciplinaire des domaines impliqués, immédiate et projective (que se passera t'il dans dix ans si les accords politico-économiques sont modifiés, si les réglementations sont différentes, si des poissons transgéniques géants s'échappent ?),

inaccessible aux experts et *a fortiori* aux profanes. C'est le problème du contrôle social des biotechnologies qui est posé : comment informer des citoyens, forcément incompetents, sur des savoirs complexes et des répercussions hypothétiques afin de favoriser leur participation à ce contrôle ?

Dans un contexte de croissance rapide des savoirs biotechnologiques, les individus actualiseront de plus en plus leurs connaissances en dehors du système de formation initiale, grâce à différents médias d'éducation non formelle (notamment le média «exposition»). Dans cette recherche, notre propos a été de réaliser une «transposition muséographique» de savoirs biotechnologiques (c'est-à-dire la transformation de savoirs de référence en savoirs à exposer) qui a été formalisée dans des panneaux scriptovisuels (Jacobi, 1989). Le panneau constitue une unité pleine qui contribue, de façon autonome, au discours de l'exposition (Jacobi, 1989 ; Laurian, 1988, 1991).

Depuis de nombreuses années, des méthodologies d'évaluation muséale très spécifiques se sont développées. L'évaluation de préfiguration s'appuie sur le principe de ce qui est classiquement appelé l'évaluation formative et que certains auteurs appellent l'«évaluation en action» (Eidelman et al, 1993), d'autres l'«évaluation-diagnostic» (Guichard, 1990), d'autres l'«essai de la conception» (Bitgood, 1989). Le but de ce type d'évaluation formative est l'amélioration de la conception d'une exposition (ou d'éléments d'exposition) ; selon les cas, la conception des préfigurations est précédée ou non d'enquêtes préalables auprès des publics potentiels. Nous envisageons d'élaborer une exposition itinérante destinée aux établissements scolaires de l'enseignement agricole. Nous avons, par conséquent, analysé les conceptions préalables d'échantillons stratifiés d'élèves de l'enseignement agricole, analyse qui ne sera pas détaillée dans cet article.

Le discours de l'exposition vit à travers une double activité, celle de production et celle de reconnaissance de l'énoncé. L'auteur du discours de l'exposition effectue une série de choix. Il fait acte de référence en réalisant des choix de contenus à présenter ; puis, il réalise des choix d'énonciation. Pour en finir avec l'illusion d'un savoir transposé neutre et strictement objectif, dans notre recherche, nous avons voulu analyser les choix effectués. Ainsi, pour aller au-delà des études classiques d'évaluation préalable et formative, nous nous sommes particulièrement intéressée à clarifier la démarche de prise de décision qui a présidé à l'élaboration des panneaux. Nos choix se sont fondés sur la conjugaison de diverses investigations : étude préalable des conceptions de plusieurs catégories du public potentiel, analyse épistémologique des savoirs à muséologiser, analyse linguistique de documents de vulgarisation, évaluation formative des panneaux de préfiguration produits.

Dans cet article, nous montrons comment l'analyse épistémologique des savoirs sur le clonage a présidé au choix des connaissances à présenter, et comment l'analyse linguistique a étayé nos choix langagiers dans la conception des panneaux de préfiguration.

Soulignons que deux intentions prioritaires ont orienté ce travail : favoriser l'appropriation de connaissances sur les biotechnologies et favoriser la construction d'une opinion sur les répercussions de celles-ci (favoriser la formation d'un jugement critique) pour permettre aux individus de participer aux débats.

1. COMMENT CHOISIR LES CONNAISSANCES À PRÉSENTER ?

À l'instar de nombreux enseignements scientifiques, la vulgarisation technologique court le risque d'être dogmatique. Voici ce que disait, en septembre 1989, la revue de vulgarisation technique *Typex*.

«Par fécondation naturelle ou in vitro, un embryon est tout d'abord conçu à partir d'un ovule et d'un spermatozoïde issus de géniteurs remarquables. À 5 jours, cet embryon possède 32 cellules.»

Chaque cellule, génétiquement identique, va être transplantée dans un ovule énucléé.

«Des ovules sont nécessaires en très grande quantité : 32 par génération pour chaque embryon.»

Les ovules de follicules immatures, prélevés sur des ovaires à l'abattoir, sont maturés 24 heures.

«Par micromanipulations, on leur enlèvera leur matériel nucléaire propre. Puis, on introduira dans 32 ovules ainsi énucléés, 32 cellules de l'embryon supérieur de départ. Par électrofusion, on assure l'acceptation du noyau par l'ovule receveur en les plaçant en parallèle entre deux électrodes. On obtient ainsi théoriquement 32 clones absolument identiques, génétiquement du moins. (...) Une autre phase de maturation sera nécessaire pour le développement de ces nouveaux embryons issus du clonage (...) jusqu'au stade de 32 cellules. (...) Ils pourront enfin être implantés à une vache receveuse ou encore subir une autre multiplication : chaque clone contenant désormais 32 cellules pourra être multiplié par 32. Cinq jours plus tard, la deuxième génération totalisera plus de 1000 clones et la troisième, après 10 jours, plus de 30 000 !»

Nous assistons à une étonnante description de la méthode qui paraît prodigieusement simple et efficace, aucune difficulté n'est citée, aucun aléa n'a dû être surmonté, aucune question d'ordre éthique, écologique ou économique n'est soulevée. Et pourtant, à ce moment là, le plus grand clone bovin obtenu ne comptait que neuf veaux, le rendement veau né/embryon reconstitué était de 5 %, une quatrième génération de veaux clonés n'a toujours pas été obtenue, le rendement chute fortement à partir du deuxième cycle. Dans son enthousiasme, le journaliste expose une technologie sans faille, aux performances époustouflantes, sans prendre la précaution d'utiliser le conditionnel (un seul adverbe, *théoriquement*, indique une attitude de précaution épistémologique).

Au cours de la démarche de transposition muséographique, se pose, de façon cruciale du fait de la dimension des supports, le problème du choix des connaissances à présenter. Une double approche épistémologique peut étayer cette démarche : d'une part, l'étude de l'histoire de la construction des connaissances sur le clonage ; d'autre part, l'identification, dans les commentaires de chercheurs, des enjeux (scientifiques, zootechniques, éthiques, économiques) qu'ils associent aux recherches sur les biotechnologies de la reproduction (l'au-delà des biotechnologies), voire des traces de leur imaginaire mythique (l'en-deçà des biotechnologies).

1.1. Le clonage : une histoire à rebondissements

C'est l'amélioration des produits animaux qui a présidé au développement des biotechnologies de la reproduction. Ainsi, biotechnologie de la reproduction, du moins chez l'animal, rime toujours avec sélection. Un nouvel outil pour la sélection animale est en cours d'expérimentation : le clonage, qui vise la production de clones génétiquement identiques, et a pour but la multiplication et la standardisation des individus les plus performants.

La construction de la connaissance scientifique se fait par rectifications successives. Le clonage n'échappe pas à cette règle. D'autant plus que le développement des recherches sur le clonage chez les mammifères domestiques dépend, non seulement des différentes recherches parallèles sur la maturation *in vitro* des ovocytes, la fécondation *in vitro*, la culture *in vitro* des embryons, mais aussi de la mise au point, souvent empirique, de nombreux paramètres expérimentaux.

Nous avons réalisé une revue bibliographique des recherches sur le clonage afin d'identifier les difficultés rencontrées, parfois surmontées, les orientations choisies, et parfois abandonnées, les voies de progrès envisagées. Pour cette revue historique, nous avons sélectionné les

expériences «phares» quasi systématiquement citées dans les publications scientifiques depuis les années cinquante. L'histoire du clonage par transplantation nucléaire révèle des ruptures, des abandons ou des obstacles.

Chez les mammifères domestiques, les recherches sur le clonage embryonnaire ont suivi trois voies parallèles : la scission d'embryons, la séparation de blastomères et le transfert de noyaux. Au moment de la conception de cette exposition, c'est la méthode du **clonage embryonnaire par transfert de noyau** qui se situait sur le front de la recherche (Dolly n'était pas encore née). C'est à partir de l'hypothèse de départ «*si tous les gènes sont bien présents dans le patrimoine génétique d'une cellule somatique donnée d'un organisme développé, alors une greffe du noyau de cette cellule dans un œuf devrait permettre de régénérer un individu complet*» que le concept de clonage par transfert de noyau a été proposé par Speeman (1938). L'intérêt affiché, dès le début, repose sur le transfert de cellules somatiques d'individu adulte. Mais, les résultats obtenus remettaient en cause l'hypothèse de départ. Il apparaissait que les greffes de noyaux étaient d'autant moins susceptibles de donner naissance à des individus normaux que les cellules donneuses de noyaux provenaient de tissus plus différenciés, *a fortiori* de tissus d'individus adultes.

La recherche sur le clonage embryonnaire, dont les performances restent médiocres, a emprunté parfois des pistes sans issue ; elle a dû affronter des obstacles scientifiques, techniques, mais aussi (ce ne sont pas les moindres) sociaux. Il serait fastidieux de rapporter tous les obstacles scientifiques et techniques, mais on peut souligner par exemple que les chercheurs ont tenté, avec plus ou moins de bonheur, d'utiliser différentes catégories de cellules animales. En ce qui concerne les cellules donneuses de noyaux, les tentatives d'utilisation de cellules somatiques d'individus adultes ont été des échecs jusqu'à la naissance de Dolly (Wilmut et al., 1997). Ce sont des cellules embryonnaires peu différenciées qui ont été utilisées comme donneuses de noyaux. Les chercheurs espèrent établir des lignées cellulaires embryonnaires indifférenciées totipotentes ES (Embryonic Stem Cells) dérivant du bouton embryonnaire, ce qui mettrait à disposition des noyaux identiques en très grand nombre. Ces lignées pourraient aussi être utilisées pour la transgénèse en favorisant les phénomènes de recombinaison homologue, c'est-à-dire le remplacement d'un gène par un autre et non plus l'addition au hasard, dans le génome, de matériel génétique étranger. Combiné à la transgénèse, le clonage pourrait servir à l'obtention de copies conformes d'animaux transgéniques très rares. En ce qui concerne les cellules receveuses de noyaux, l'utilisation d'ovocytes fécondés énucléés a été abandonnée car leur cytoplasme s'est avéré incompetent pour assurer le développement des noyaux implantés.

Actuellement, les chercheurs ont recours aux ovocytes secondaires énucléés.

C'est grâce à la mise au point progressive, après maints tâtonnements, des procédés de micromanipulation, que les recherches sur le clonage embryonnaire se sont développées :

– l'utilisation de la cytochalasine et de la colchicine a permis de réaliser des énucléations sans entraîner une rupture des membranes (McGrath & Solter, 1983) ;

– la mise au point empirique des paramètres de l'électrostimulation a permis la fusion des membranes et l'activation de l'embryon reconstitué ;

– le marquage et la visualisation de la chromatine en microscopie de fluorescence ont facilité l'énucléation des cellules receveuses, car le cytoplasme est très opaque chez les bovins ;

– la mise au point de milieux de culture a été nécessaire pour la maturation *in vitro* des ovocytes receveurs.

Enfin, dernière difficulté, les recherches sur le clonage embryonnaire sont bien loin d'être achevées. De nouvelles recherches sont actuellement poursuivies et explorent d'autres voies, comme :

– le recyclage d'embryons clonés. Si l'utilisation d'un embryon cloné comme donneur de noyaux a déjà été réalisée, le rendement est très faible à partir du deuxième cycle (Stice, 1992). Des veaux issus d'embryons clonés de troisième génération sont nés. La quatrième génération n'a pas encore été obtenue ;

– l'élucidation des mécanismes de reprogrammation des noyaux ;

– la caractérisation, au niveau biochimique et moléculaire, de la qualité du cytoplasme receveur préparé à partir d'ovocytes maturés *in vitro* (Renard, Heyman, 1992) ;

– l'obtention de cellules souches embryonnaires totipotentes cultivées *in vitro* (Saito et al. 1992).

Depuis la réalisation de cette recherche en didactique, l'équipe de Ian Wilmut de l'Institut Roslin d'Edimbourg a publié des résultats qui ont modifié l'orientation majeure des années 1990, orientation qui reposait sur le **clonage embryonnaire** et non plus sur le **clonage d'individus adultes**. Les savoirs sur le clonage sont décidément des savoirs non stabilisés ! Pour rendre compte du front de la recherche dans cette approche historique, résumons les principaux résultats fournis par l'équipe de Wilmut. En 1996, l'équipe a produit deux agnelles, Megan et Morag. À la différence des animaux obtenus jusqu'alors, elles provenaient des cellules cultivées à

partir d'embryons de mouton âgés de neuf jours, autrement dit d'embryons comptant déjà quelques cent vingt cellules. Ces dernières, à ce stade, avaient déjà commencé à se différencier en trois tissus distincts : l'endoderme, le mésoderme et l'ectoderme.

Les cellules donneuses de noyaux ont été cultivées, pendant plusieurs mois, à partir de cellules d'embryons âgés de 9 jours (les cultures ont été « repiquées » 6 à 13 fois). Ainsi, il était possible de produire plusieurs milliers de cellules génétiquement identiques. L'induction d'un état de quiescence de ces cellules avant leur transfert dans des ovocytes énucléés a été réalisée en réduisant la concentration en sérum dans le milieu. Wilmut fait l'hypothèse que les noyaux de ces cellules rendues quiescentes, qui donc ne se multiplient plus, sont plus facilement reprogrammés par les ovocytes receveurs (qui n'ont pas alors à inhiber l'activité des noyaux avant de la réinitier). Pour Wilmut, la différenciation doit refléter des modifications dans l'expression des gènes plutôt que la perte de régions spécifiques de chromosome.

Wilmut envisage deux applications potentielles à cette nouvelle technique. En premier lieu, pendant que les cellules donneuses sont en culture, il serait possible de procéder à des transgénèses. Selon lui, les méthodes actuelles de transgénèse sont très primitives car elles permettent au mieux d'ajouter un gène, sans qu'on sache où il s'insère dans le génome. Parfois, le transgène perturbe le génome receveur. Tandis qu'avec des techniques de « ciblage génique », on pourrait procéder, avec précision, à l'introduction d'une modification génétique dans un gène existant ou à l'ajout de gènes. Des techniques de sélection pourraient alors être appliquées pour identifier les cellules transgéniques, encore en culture, qui seraient d'intéressantes donneuses de noyaux. En deuxième lieu, l'obtention de clones améliorerait les performances en élevage du fait de l'uniformité des animaux, à condition que, dans les élevages, soient élevés des lots de clones différents pour diminuer les risques liés à la susceptibilité éventuelle d'un clone avec une infection particulière.

Les naissances de Megan et Morag ont relancé l'espoir des chercheurs en la possibilité d'obtenir des clones d'individus adultes. C'est surtout l'annonce par Wilmut, en février 1997, de la naissance de Dolly qui fut un coup de théâtre. Dolly est née de l'implantation, dans un ovocyte énucléé, du noyau d'une cellule somatique provenant de la glande mammaire d'une brebis adulte. L'embryon ainsi obtenu a été transféré dans l'utérus d'une brebis porteuse. Cette brebis a donné naissance à Dolly. Dans cette recherche, trois populations de cellules donneuses de noyaux ont été cultivées : des cellules issues d'embryons de 9 jours, des cellules issues de fœtus de 26 jours (des fibroblastes) et des cellules issues de la glande mammaire d'une brebis âgée de 6 ans au dernier trimestre de gestation.

Huit femelles porteuses des embryons reconstitués ont donné naissance à des agneaux vivants issus des trois populations cellulaires. Dolly est le premier mammifère né après transfert du noyau d'une cellule adulte. La culture initiale contenait principalement des cellules épithéliales mammaires (plus de 90 %) et d'autres types de cellules différenciées, incluant des cellules myoépithéliales et des fibroblastes. Mais, les chercheurs ne peuvent exclure la possibilité de la présence d'une faible proportion de lignées de cellules indifférenciées capables de permettre la régénération de la glande mammaire pendant la gestation...

Ainsi, avec Dolly, l'hypothèse initiale des recherches sur le clonage, évoquée périodiquement dans les publications sources, est actualisée. Mais, n'oublions pas que, sur 277 embryons reconstitués à partir de cellules de glandes mammaires, seule Dolly est née...

1.2. L'au-delà des recherches : entre enjeux, rêves et propagande

D'un point de vue épistémologique, la construction des sciences ne correspond pas à une recherche quelconque d'un idéal de vérité sans lien avec le fonctionnement des sociétés humaines (Astolfi & Develay, 1989). C'est encore plus vrai pour ce qui concerne la construction des biotechnologies. Dans les commentaires des chercheurs, les enjeux (l'au-delà des biotechnologies) supposés au développement des recherches sur les biotechnologies de la reproduction animale s'inscrivent dans différents domaines de socialisation.

La plupart des commentaires des chercheurs sont de nature scientifique. Les commentaires sont aussi zootechniques, économiques, juridiques, écologiques. Des propos soulevant des problèmes éthiques ne sont cependant pas absents du discours des chercheurs : Lederberg (1966), prix Nobel de Médecine, défend le clonage humain en tant que moyen de reproduire, sans risque de détérioration génétique, «*les individus supérieurs*» ; Davis, cité par Blanc (1981), indique que les grands mathématiciens et les grands musiciens devraient être spécialement clonés (on retrouve là la thèse défendue par Galton (1869), le père de l'eugénisme, pour qui la généalogie démontrait l'hérédité du génie) ; Fletcher (1971), de l'université de Virginie, estime que «*la société pourrait avoir besoin de clones humains spécialisés pour remplir certains rôles particuliers, par exemple des individus spécialement résistants aux radiations, ou dotés d'une toute petite taille pour les vols à haute altitude ou les vols spatiaux*» et ajoute en 1974 : «*toutes les raisons de modifier l'humanité sont justifiées, y compris la nécessité de fabriquer, au moyen de la bio-ingénierie, des êtres*

para-humains ou des hommes modifiés». Le Dr Fletcher, éthicien, commente ainsi dans le New York Times (1993) l'expérience de «clonage humain» réalisée par Stillman et Hall : «*L'être humain est un créateur, et plus une œuvre est le fruit de sa volonté et de sa raison, plus elle est humaine. C'est pourquoi [...] la reproduction en laboratoire est infiniment plus humaine que la conception par relations hétérosexuelles ordinaires.*» Rappelons que deux puissantes associations médicales nord-américaines ont gratifié cette présentation sur le clonage humain du prix de l'une des meilleures communications du Congrès.

Au-delà des commentaires scientifiques, une tendance à valoriser leurs travaux (ou ceux de leurs pairs) hors de leur domaine de validité et de compétence est décelable dans le discours de certains chercheurs. Ils rêvent, par exemple, de résoudre la faim dans le monde, ou le sous-développement. Ils révèlent alors, encore davantage, l'utopie sociale de la science, l'au-delà de la raison scientifique. C'est le projet de montrer une recherche respectable, importante socialement et économiquement, qui est ainsi poursuivi. Selon Latour (1989), l'objectif (parfois avoué) des justifications des chercheurs est d'obtenir des crédits pour leurs recherches. En clôture de leur article sur le clonage, Renard et Heyman (1992) posent la question : «*Quelles applications pour l'élevage ?*» Tout d'abord, ils reprennent des critiques formulées à l'encontre du clonage : «*Le clonage embryonnaire constitue une biotechnologie à forte valeur ajoutée, qui réclame la compétence de techniciens hautement qualifiés. Méthode sophistiquée, cette technologie est considérée par certains comme un luxe réservé à un petit nombre de pays développés, voire une fuite en avant technologique qui ne répond pas aux difficultés économiques que connaît actuellement ce secteur de production. S'ajoute à ces critiques la peur de voir cette technologie utilisée sans discernement et à l'origine d'une perte irréversible de la diversité génétique des espèces domestiques.*» Puis, ils contrecarrent ces accusations par deux illustrations, toutes deux inspirées par des justifications économiques, voire philanthropiques, au profit, non pas des pays occidentaux, mais des pays en voie de développement : «*La première concerne les résultats récents obtenus par des collègues chercheurs vietnamiens avec qui nous travaillons depuis plusieurs années. Leur objectif est d'utiliser le transfert d'embryons puis, à plus long terme, le clonage pour augmenter la qualité génétique du buffle des marais (Bubalo bubalis). Cet animal est utilisé non seulement comme source de protéines pour l'alimentation, mais aussi comme force de travail dans les rizières, et comme moyen de transport dans les régions des hauts plateaux.*» La deuxième illustration met en avant, en particulier, l'intérêt du clonage dans de nombreux pays où l'amélioration génétique n'a pu encore se développer suffisamment, comme par exemple l'Inde : «*Cette technique peut en effet être appliquée pour mieux connaître les caractéristiques génétiques de*

race de petits effectifs qui jusqu'à maintenant ne pouvaient être valorisés dans les schémas classiques.» Peut-être conviendrait-il de poser aussi des questions sur le contexte socio-culturel qui détermine actuellement les pratiques d'élevage dans ces pays ?

La présence des différents domaines de socialisation (scientifique, écologique, économique, juridique, zootechnique, éthique) des biotechnologies de la reproduction animale dans le discours des chercheurs eux-mêmes confirme bien le fait que la construction des biotechnologies ne correspond pas à une recherche d'un idéal de vérité sans lien avec le fonctionnement sociétal. D'un point de vue épistémologique, une biotechnologie ne peut être exposée dans une apesanteur sociale sans que soient envisagés les domaines d'application et les enjeux impliqués. La recherche ne produit pas que de la connaissance pure. *«On pourrait dire que le cognitif secrète du social»* (Jacobi & Schiele, 1988).

Les chercheurs ont tendance à recourir à un double discours : un raisonnement dialectique et hypothétique au cours de la construction des connaissances et un raisonnement linéaire et utilitariste, sans prendre en compte les résistances sociales, lorsqu'ils envisagent les développements de leurs travaux. Les développeurs (conseillers des firmes agro-alimentaires) appartenant aux mondes industriel et marchand ont, quant à eux, tendance à ne divulguer qu'un seul discours mettant en exergue l'utopie sociale d'une biotechnologie salvatrice.

1.3. L'imagination scientifique et l'en-deçà des biotechnologies

Holton (1981) a montré que l'imagination scientifique était marquée par les archétypes mythiques de l'inconscient collectif. Ces archétypes orientent les politiques de recherche. Ils sont identifiables, par exemple, dans les hypothèses de recherche et les commentaires des chercheurs. À titre d'illustration, sur notre thème, le clonage révèle la quête d'une sorte de réincarnation, de quasi-immortalité. Albertini et Bélisle (1988) ont montré que la vulgarisation scientifique exploite ces archétypes mythiques (notamment dans l'iconographie utilisée), elle participe alors au remodelage de l'imaginaire collectif et à la légitimation des technologies futures...

1.4. Les choix effectués sur les contenus à présenter

Tout au long du développement précédent, nous avons mis en exergue un certain nombre de difficultés épistémologiques qui parsèment d'embûches l'opération de transposition muséographique.

Dans l'élaboration du message, il s'agit alors de mettre l'accent sur la nature *problématique* de la construction de la pensée scientifique (démarche alimentée par la recherche de réponses à des questions théoriques ou pratiques) pour éviter de présenter une forme surmodélisée et dogmatisée du savoir. Présenter à un public peu familiarisé avec les démarches les rectifications successives qui président à la construction du savoir de la recherche engendre une difficulté certaine : le message risque d'être complexifié et, par voie de conséquence, sa négociation sera moins aisée. Nous avons donc choisi de présenter la dialectique entre l'hypothèse de base des chercheurs (produire des individus identiques à partir de cellules d'individus adultes) et les travaux sur l'embryon, et de présenter la résistance des faits à la pratique empirique et théorique des chercheurs, la persistance d'obstacles, d'aléas, la relative médiocrité des performances obtenues.

Il s'agit de procéder aussi à des choix déontologiques. La construction des connaissances ne se fait pas en apesanteur sociale. De nombreuses questions éthiques, économiques, politiques, écologiques, juridiques peuvent être abordées. Elles ne renvoient à aucune réponse simple ; elles sont supports de débats. Mais, comment alimenter ces débats sans tomber dans les dérives du catastrophisme ou de la sacralisation de la science ? D'autant plus que, dans leurs discours, les scientifiques impliqués prennent rarement de distance pour traiter des répercussions des développements de leurs travaux, fascinés par leurs résultats ou liés aux intérêts des firmes qui financent en partie leurs recherches.

La présentation des enjeux associés au développement des biotechnologies de la reproduction bovine et des différents points de vue sur ces enjeux peut maladroitement induire des manipulations d'opinion. Doit-on, par exemple, franchir la frontière animal/homme et évoquer l'application du clonage chez l'homme ? Nous avons choisi de limiter notre propos aux biotechnologies bovines. Nous avons alors contextualisé les savoirs exposés à partir des pratiques sociales des éleveurs. Plutôt que de développer des points de vue engagés sur la question, pour stimuler l'esprit critique des visiteurs, nous avons présenté des effets de propagande volontairement antagonistes (avantages et inconvénients dans différents domaines de socialisation : zootechnique, économique, éthique, juridique) et un questionnement ouvert sur les implications du clonage.

2. L'IMPACT DES CHOIX LINGUISTIQUES

Après avoir choisi les contenus à présenter, et les intentions poursuivies, le message du concepteur se précise. Il doit alors procéder à des choix langagiers au service de ses intentions ; l'énonciation reflète la stratégie du

scripteur. Pour étayer nos choix énonciatifs, nous avons soumis des documents de vulgarisation scientifique à une analyse linguistique formelle. Le corpus choisi correspond aux principales références bibliographiques, utilisées par les enseignants en zootechnie, et identifiées après enquête.

Notre analyse s'est portée sur le corpus suivant, constitué de documents produits en français et contemporains (datés de 1991) :

– «transplantation de noyaux et obtention de clones chez les mammifères domestiques» – Y. Heyman, P. Chesne, J.-P. Renard – *Recueil de Médecine Vétérinaire*,

– «les biotechnologies animales» – L.-M. Houdebine – *INRA Productions Animales*,

– «reproduction animale : les technologies de l'embryon» – J. Rajnchapel-Messaï – *Biofutur*.

Le texte de Heyman et al. (Unité de Biologie du Développement de l'INRA) dans *Recueil de Médecine Vétérinaire* correspond à une revue sur la question, car il en présente l'histoire de la recherche, l'évolution des méthodes employées, les résultats obtenus dans les différents laboratoires français et étrangers, les programmes de recherche en cours et les perspectives d'avenir. L'article paru dans *INRA Productions Animales*, rédigé par Houdebine (chercheur de l'INRA à l'Unité de Différenciation Cellulaire) peut également être considéré comme une revue sur la question : il y est fait l'inventaire des recherches sur les biotechnologies animales, incluant les biotechnologies de l'embryon et en particulier le clonage embryonnaire. *Biofutur* est une revue de vulgarisation scientifique, l'article sélectionné a été rédigé par un journaliste de formation scientifique. Il est uniquement consacré aux technologies de l'embryon et peut être considéré comme un article de synthèse.

Nous avons d'abord réalisé une analyse comparative de certaines caractéristiques formelles des articles du corpus. De nombreux travaux de linguistique ont dégagé les stratégies discursives des auteurs de vulgarisation scientifique et technique (Mortureux, 1988 ; Jacobi, 1994) ; notre propos est ici d'identifier, sur un objet de savoir donné et à travers une série de documents, comment sont illustrées certaines de ces stratégies. Il ne s'agit pas de proposer une approche linguistique nouvelle, mais de préciser nos propres choix stratégiques. L'analyse linguistique de la vulgarisation scientifique nous amène à peser explicitement nos choix énonciatifs. S'imposer une telle prise de distance est loin d'être naturel ; cela exige une clarification des intentions et des modalités énonciatives mises au service de ces intentions. D'emblée, des variables énonciatives, qui pourront être manipulées pour améliorer l'efficacité du message, sont mises en évidence.

La science s'exprime dans un vocabulaire qui lui est propre, avec ses terminologies spécifiques. Selon les cas, les termes scientifiques (le jargon de spécialité) sont présents ou non dans les documents de vulgarisation, en principe, ils sont monosémiques et obéissent à la règle de biunivocité. Ils ne possèdent donc pas de synonymes. Il faut toutefois nuancer ce propos ; Jacobi (1994) remarque que les spécialistes eux-mêmes mobilisent des synonymes. Les termes scientifiques sont souvent hermétiques pour les profanes ; s'impose alors, aux vulgarisateurs, la nécessité de traduire le jargon de spécialité, ce qui, par essence, est une opération quasi impossible. On peut s'interroger sur les risques de dénaturation du discours au cours de cette traduction. Nous avons analysé, sur ce corpus, comment les scripteurs ont reformulé le terme-pivot **clonage**.

Un point commun rassemble les documents de vulgarisation, il s'agit toujours de discours «seconds» dans lesquels se manifestent les traces de la réénonciation qui les a produits. Il s'agit d'un discours rapporté, les traces des références au discours source, de la citation à l'allusion furtive, s'inscrivent dans son énonciation. Le discours de vulgarisation est un discours «dédoublé», le vulgarisateur produit toujours «sous l'œil» des savants (Mortureux, 1988). Il s'adresse à la fois aux chercheurs dont il cherche une légitimation et à son public qu'il veut séduire, ce qui le conduit parfois à produire un niveau de formulation hétérogène, partiellement trop savant, renforçant alors l'éloignement des profanes vis-à-vis de la science. Sans négliger le fait qu'il se perd parfois et néglige de garder une attitude épistémologique critique. Nous avons analysé comment les discours du corpus étudié ont été «rapportés».

Un certain nombre de marques énonciatives révèle l'attitude épistémologique des scripteurs. Nous nous sommes intéressée en particulier aux temps verbaux, aux marqueurs temporels, aux connecteurs logiques, aux traces dialogiques, ...

2.1. Reformulation du terme-pivot *clonage*

Selon Jacobi (1994), il existe «*au moins trois catégories de mécanismes de reformulation : ceux qui relèvent du paradigme désignationnel, par opposition à ceux qui s'inscrivent dans le paradigme définitionnel. Enfin une troisième famille peut être distinguée à partir de l'axe dit métaphorique*».

Dans *Recueil de Médecine Vétérinaire*, les chercheurs s'adressent à leurs pairs et aux vétérinaires, nombreux à lire cette revue. Ils partagent le même idiolecte. S'ils ont recours à des mécanismes de reformulation du terme-pivot **clonage**, de quelle nature sont-ils ?

Ils sont majoritairement de type définitionnel et utilisent de nombreux termes scientifiques :

1) «*La technique qui permet à partir de noyaux prélevés sur un seul embryon et transplantés dans des cytoplasmes énucléés, d'obtenir une série d'animaux génétiquement identiques.*»

2) «*L'opération qui consiste à produire plusieurs animaux à partir d'un seul embryon.*»

On trouve également un fragment combinant la définition et la métaphore :

3) «*Leur **greffe** (des noyaux embryonnaires) dans une série d'ovocytes énucléés et activés.*»

C'est nous qui soulignons la métaphore.

Autre métaphore :

4) «*L'obtention de copies.*»

Dans *INRA Productions Animales*, les auteurs sont aussi des chercheurs qui s'adressent en priorité à des spécialistes (cette revue sert aussi de support de formation continue aux enseignants de zootechnie), nous avons répertorié deux reformulations du terme-pivot *clonage* :

5) «*Le transfert du noyau d'une cellule d'un embryon précoce dans le cytoplasme d'un embryon au stade une cellule ou d'un ovocyte.*»

6) «*Et donc à le multiplier à l'infini sans passer par le cycle normal de la reproduction.*»

Dans *Biofutur*, une reformulation du terme-pivot *clonage* est de type définitionnel :

7) «*Elles (les méthodes de clonage artificiel) consistent à fabriquer plusieurs embryons à partir d'un seul pour obtenir des animaux identiques à l'embryon de départ et possédant donc ses qualités génétiques.*»

Plusieurs fois, le syntagme nominal *transfert de noyaux* ou *transfert nucléaire* est employé comme synonyme du terme *clonage*, ce qui paraît très réducteur quand on sait qu'il ne s'agit là que d'une étape de cette méthode sophistiquée. Il semble qu'indifféremment le **clonage** soit défini comme une *technique*, une *opération*, une *technologie* ou une *méthode*. Cette caractérisation fluctuante du *clonage* peut induire des confusions chez le lecteur.

Le terme *clonage* évoque, pour les spécialistes, toute une série d'étapes ; au contraire, les reformulations n'évoquent souvent que certaines

étapes (énoncés 3, 5) et passent sous silence celle de transfert sur des femelles porteuses pour conclure dans un raccourci saisissant sur l'obtention d'animaux identiques (énoncés 1, 2). Toutes les coordonnées spatiales de la méthode ne sont pas citées, le clonage se déroule exclusivement au sein du laboratoire, les lieux où se passent la gestation et la mise bas des mères porteuses ne sont jamais mentionnés. Certaines reformulations évoquent simplement le principe du clonage (énoncés 4, 6, 7) ; pour ce faire, il est parfois fait appel à des rapprochements fondés sur des analogies choisies pour leur caractère évocateur : *multiplier à l'infini, l'obtention de copies* (énoncés 4, 6). La reformulation *multiplier à l'infini* présente deux inconvénients : elle laisse supposer que la méthode est sans limite et elle risque d'alimenter la confusion du public pour qui le clonage est une simple affaire de multiplication cellulaire.

Le syntagme *obtention de copies* est directement emprunté aux textes de chercheurs. Il est utilisé depuis plus de quinze ans et il est difficile de connaître son origine. Il est clair que le recours à des analogies permet d'imaginer un concept abstrait. On utilise alors la capacité de certains mots à évoquer des images chez les lecteurs (Jacobi, 1989). N'est-ce pas le cas ici du mot *greffe* et du syntagme *obtention de copies* ?

2.2. Des discours plus ou moins explicitement rapportés

Des références plus ou moins explicites aux discours sources se manifestent (ou ne se manifestent pas) dans les discours seconds, rapportés, de la vulgarisation scientifique et technique. Les auteurs des discours primaires peuvent être nommés, ainsi éventuellement que les circonstances de leurs travaux (dates, méthodes, résultats, ...) La construction des connaissances exposées est, dans ce cas, personnalisée. Si elle ne l'est pas, nous retrouvons un des risques de dogmatisation de la science qui menace la réussite de la transposition didactique du savoir dans l'enseignement. Le savoir source, transformé en savoir enseigné, est très souvent dépersonnalisé (les chercheurs ne sont pas évoqués) et déhistorisé. Il n'est pas resitué dans son contexte de production, c'est-à-dire dans le domaine de validité déterminé par le protocole expérimental qui a permis sa formulation. La connaissance scientifique paraît produite *ex nihilo* et les cheminements, parfois chaotiques, de sa construction ne sont pas présentés. Dans notre corpus, les références aux publications sources sont plus ou moins nombreuses.

Dans le texte de *Recueil de Médecine Vétérinaire*, 34 références bibliographiques sont citées. Et pourtant, les auteurs utilisent souvent le «on» lorsqu'ils présentent les faits scientifiques reconnus par l'ensemble de

la communauté scientifique : ces faits scientifiques ont pris statut d'évidence, leurs auteurs en sont oubliés. Lorsque les auteurs de l'article emploient le « nous », c'est pour mettre en valeur leurs propres recherches.

Dans *INRA Productions Animales*, deux références sont données sur le clonage, mais il convient de rappeler que l'article traite de l'ensemble des biotechnologies animales et présente 27 références bibliographiques.

L'article de *Biofutur* comporte une abondante bibliographie (42 publications primaires en français et en anglais). Un tableau de 11 références est emprunté à l'article de *Recueil de Médecine Vétérinaire*.

En plus des références bibliographiques classiques, les coordonnées spatiales énoncées rattachent plus ou moins le discours à son monde d'origine : celui de la recherche, privée ou publique, française ou étrangère. Le discours rapporté précise alors l'espace dans lequel le discours primaire a été produit, qu'il s'agisse du type de local (laboratoire, expérience *in situ*, etc.) ou de la localisation du centre de recherche...

L'article de *Recueil de Médecine Vétérinaire* précise le lieu où un précurseur a travaillé : c'est à Cambridge que le Dr S. Willadsen obtient pour la première fois, en 1986, trois agneaux après transfert de noyaux. La contextualisation économique est spatialisée : le clonage commence à être utilisé à des fins commerciales, notamment au sein de trois grands groupes privés nord-américains, également en Australie, en Nouvelle Zélande et tout récemment en France.

Aucun lieu n'est cité dans l'article d'*INRA Productions Animales*. Tandis que dans l'article de *Biofutur*, en plus du nom des responsables de recherche, sont mentionnés le nom des laboratoires et leurs adresses, comme si ces précisions légitimaient le discours auprès des firmes en biotechnologies, public que *Biofutur* avoue vouloir séduire. L'article précise, non seulement la ville où Willadsen a innové, mais aussi le nom de son Institut de recherche. En plus, une note de bas de page signale que Willadsen est actuellement directeur du service de recherche de la société canadienne Alta-Genetics (Calgary, Alberta). Nous suivons les mutations géographiques et professionnelles de ce prestigieux chercheur. Les noms et les adresses des firmes nord-américaines qui ont initié une activité de commercialisation des clones sont indiqués (on retrouve d'ailleurs la firme où exerce Willadsen). L'auteur de l'article présente les alliances établies entre laboratoires, les engagements financiers pris par les uns et les autres ; elle cite aussi les firmes qui soutiennent les recherches publiques. L'ensemble de ces modalités d'ancrage concrétise et légitime le discours.

2.3. Les temps verbaux

Parmi les marques énonciatives que l'on peut examiner dans un article de vulgarisation scientifique et technique, les temps verbaux sont souvent révélateurs de l'attitude épistémologique des scripteurs et du rapport à la science qu'ils instaurent vis-à-vis du lecteur. Nous n'avons pas pris en compte ici les occurrences de l'infinitif, ni celles du participe passé, intégrées à des groupes nominaux.

	Imparfait	Présent	Conditionnel	Futur	Forme passive du passé composé	Forme active du passé composé	Futur antérieur	Imparfait subjonctif	Plus-que-parfait
RMV	9 (4 %)	136 (59 %)	19 (8 %)	6 (3 %)	38 (17 %)	20 (8 %)			3 (1 %)
INRA Prod. An.	1 (5 %)	9 (50 %)	2 (11 %)	1 (5 %)	4 (22 %)		1 (5 %)		
Biofutur		82 (68 %)	4 (3 %)	5 (4 %)	28 (23 %)			1 (1 %)	

Tableau 1 : **Nombre et pourcentage d'occurrences des différents temps verbaux dans les articles ou parties d'articles de *Recueil de Médecine Vétérinaire*, *INRA Productions Animales* et *Biofutur* consacrés au clonage**

La prédominance du présent et du passé composé corrobore le fait qu'il s'agit de textes appartenant à l'univers du «*monde commenté*» (Weinrich, 1973). Le monde commenté est celui de la science en train de se faire ; le lecteur est alors spectateur du processus de découverte. Roqueplo (1974) a reproché à la vulgarisation scientifique de réaliser des mises en spectacle qui risquent de renforcer le mythe de la science. Cependant, la pluralité des fonctions du présent affranchit ce temps de ce type de reproche ; elle lui permet de couvrir toutes les nuances qui vont du passé au futur comme le soulignent les grammaires classiques (Jacobi, 1988).

La fréquence de formes passives correspond à une modalité courante des textes scientifiques, qui donne ainsi l'impression que les faits se font tout seuls (Mortureux, 1991). Cette particularité des discours scientifiques suggère l'idée que la science est immuable.

L'utilisation du conditionnel témoigne de la prudence des scientifiques qui se gardent d'affirmer ce qui n'est pas encore démontré.

2.4. Les marqueurs temporels

Si tout discours s'inscrit dans l'espace, il s'inscrit aussi dans le temps. Dans un discours de vulgarisation, deux systèmes de coordonnées temporelles se répondent (Jacobi, 1988). Le scripteur situe les travaux du passé, notamment des précurseurs, pour légitimer son discours et pour souligner l'originalité des travaux récents auxquels il est initié et dont il veut informer le public ; il valorise donc également, dans un narcissisme voilé, l'actualité de l'information. Non seulement, il est informé des tout derniers travaux, mais en plus il les comprend et peut nous les traduire.

Exemple extrait de *Recueil de Médecine Vétérinaire* :

«*L'utilisation du transfert de noyaux provenant d'embryons multicellulaires n'est **pas nouvelle** chez l'animal puisque Speeman l'avait proposée **dès 1938** chez les amphibiens.*»

«***C'est en 1952** que...*»

«***En 1962...***»

«***C'est en 1986...***»

«***En 1989...***»

«***À ce jour...***»

2.5. Les connecteurs logiques

Quant aux connecteurs logiques, ils mettent l'accent sur les difficultés qui subsistent encore dans la mise en œuvre de l'opération, par exemple dans *Recueil de Médecine Vétérinaire* :

«***Mais** cette approche (de la micropipette) s'accompagne dans la plupart des cas de la rupture de la membrane ...»*

«***Mais** celles-ci (les stimulations électriques) ne miment que partiellement la séquence d'événements induits par l'entrée du spermatozoïde lors de la fécondation...*»

«***Mais** plusieurs facteurs doivent être pris en compte...*»

L'activité scientifique ne se déroule pas sans à coups, sans difficultés à surmonter. Ces connecteurs sont des indices de l'attitude épistémologique des auteurs, qui doivent, en tant que scientifiques, présenter tous les résultats qu'ils soient positifs ou négatifs.

Dans certains cas, les connecteurs de concession introduisent une rupture ou une limite au développement des recherches en cours, voici un exemple extrait de *Biofutur* :

*«C'est ainsi qu'en 1981, J.-P. Ozil obtient la naissance de veaux jumeaux homozygotes. Pour ce faire, il a mis au point un système de microchirurgie qui permet de couper en deux des embryons extraits de leur zone pellucide au stade blastocyste. **Cependant**, la scission d'embryon, utilisable pour l'obtention de jumeaux, ne permet qu'exceptionnellement la naissance de triplés, et des quadruplés n'ont été obtenus qu'une seule fois chez les ovins. **C'est en 1986** que ...»*

2.6. Autres modulateurs du discours indices de la prudence épistémologique

Tout au long des articles, on retrouve des traces de l'attitude épistémologique des auteurs adaptée au statut des faits scientifiques en cours de constitution. Les exemples suivants sont tirés de *Recueil de Médecine Vétérinaire* :

*«Les mécanismes impliqués sont **encore peu compris** et on définit les paramètres **de façon empirique...**»*

*«L'origine de ce phénomène (le taux d'avortement), également observé par d'autres équipes américaines, est **encore inconnu**. Les données **limitées ne permettent pas** d'en faire une analyse précise, cependant on peut **soupçonner** un défaut dans l'expression de certains gènes qui se manifestent tardivement ... »*

*«Il a été montré, **au moins chez la Brebis**, que les noyaux de ces cellules peuvent encore se développer après transfert ...»*

*«Si l'ovocyte en métaphase 2 est maintenant très utilisé pour préparer des cytoplasmes receveurs, on **ne connaît pas encore** la nature des facteurs cytoplasmiques qui induisent les modifications du noyau greffé. On sait **seulement** que le cytoplasme est «compétent» pendant une courte période autour de l'activation chez la Souris...»*

C'est en particulier, lorsque sont évoquées les perspectives envisageables que les indices de l'attitude épistémologique des auteurs de *Recueil de Médecine Vétérinaire* sont les plus nombreux :

*«**En théorie**, rien n'empêche de réutiliser un embryon cloné...»*

*«Il **semble** également exister une grande variabilité dans l'aptitude au recyclage selon les embryons produits en première génération de transfert nucléaire **mais** les raisons en sont **encore mal connues...**»*

«Ce résultat ouvre **peut-être** la voie à de nouvelles approches du clonage...»

«Le clonage embryonnaire est aujourd'hui **encore en phase de recherche...**»

On voit, à travers ces citations, comment la présence de certains adverbes (*seulement, pas encore, peut-être...*) ou l'utilisation de certains verbes (*sembler, connaître, soupçonner, permettre*) exhibent la prudence des auteurs. Ils ne transmettent pas ainsi une vision idyllique du clonage, mais dévoilent les aléas de la démarche théorique et empirique de la recherche.

Dans *INRA Productions Animales*, l'attitude épistémologique de l'auteur est fluctuante. L'auteur définit tout d'abord ce qu'est le clonage embryonnaire ; il nous rappelle qu'il s'agit d'une opération réalisée depuis longtemps chez les batraciens. Il énumère les différentes étapes d'une opération de clonage sans préciser les méthodes et matériels employés. Les limites du savoir scientifique et technique sont reconnues :

«Le mécanisme de la reprogrammation du noyau qui passe d'une cellule d'un embryon dans le cytoplasme d'un ovocyte est, pour l'essentiel, **inconnu.**»

«La congélation des ovocytes receveurs de noyaux et des noyaux de cellules donneuses avant l'opération de transfert apporterait par ailleurs une grande souplesse à l'ensemble des opérations **si elle arrivait à être maîtrisée.**»

L'auteur conclut :

«Elle (la technique) deviendra une réalité dans les élevages lorsque son rendement global aura été amélioré.»

Cette fois, l'information est peu précise ; le rendement global de l'opération n'est pas chiffré ; certes, on indique que le rendement doit être amélioré, mais de combien ? Sommes-nous loin d'un rendement satisfaisant pour les chercheurs et surtout pour les éleveurs ? Quels sont les obstacles à surmonter ?

La journaliste de *Biofutur* ne met pas en exergue les inconnues auxquelles sont confrontés les chercheurs tout au long du processus du clonage. Par contre, elle prend du recul par rapport à la fascination que peut exercer la maîtrise de la reproduction par une telle biotechnologie ; elle présente donc les faibles performances obtenues :

«**Il n'en reste pas moins** que le rendement global **reste faible** : 20 à 40 % des œufs reconstitués se développent jusqu'à un stade blastocyste **apparemment normal**. Le rapport de jeunes nés par rapport au

*nombre d'œufs reconstitués est **encore plus faible**, inférieur à 10 % (5 % en moyenne pour les bovins, 4,6 % dans le cas des lapins).»*

Plus loin, elle tempère à nouveau l'enthousiasme du lecteur :

*«La production industrielle est **loin d'être encore maîtrisée**, et les premiers succès obtenus suscitent **des remous un peu disproportionnés**.»*

2.7. La dimension dialogique des discours

La pratique de vulgarisation scientifique est une situation de communication particulière. Nous avons déjà noté que le scripteur s'adresse tout à la fois aux spécialistes et aux «plus ou moins profanes», et peut-être un peu plus aux premiers qu'aux seconds lorsqu'il est lui-même chercheur. Nous avons également relevé que ces documents de vulgarisation donnent l'impression que la science se construit toute seule ; les auteurs utilisent volontiers le *on* impersonnel, ou ils emploient la troisième personne du singulier et les tournures passives (ce qui suggère l'idée que la science se construit malgré elle et que son développement est inexorable).

Le discours porte les traces du fonctionnement social de la communication scientifique qui peuvent être révélées par l'étude des conditions de production du discours ou par l'étude de ses dimensions socio-linguistiques. Dans le discours de vulgarisation, sont parfois identifiables des traces d'un dialogisme polémique. C'est le cas dans *Recueil de Médecine Vétérinaire* lorsque les auteurs procèdent à une revue historique des recherches réalisées dans ce domaine sur les amphibiens et les mammifères et font le point de l'état des performances obtenues :

*«À ce jour le record **serait** de 9 veaux nés à partir du même embryon selon les informations communiquées lors du dernier congrès de la Société Internationale de Transfert d'Embryons (1991).»*

L'emploi du conditionnel, dans cette dernière phrase, ne semble pas anodin puisqu'on s'attendrait à trouver un présent. Les informations communiquées lors de ce sérieux congrès ne sont-elles pas absolument certaines ? On sent percer, à travers l'utilisation de ce conditionnel, la dimension dialogique fréquente dans les publications scientifiques. Les scientifiques dialoguent par publication interposée ; selon les cas, ils recherchent des alliés ou poléminent avec des adversaires. Ici, il ne semble pas que les auteurs veuillent répondre par anticipation aux réfutations que ne manqueraient pas de leur adresser d'éventuels détracteurs. Mais, au contraire, ce sont eux qui semblent émettre des doutes quant à la véracité de cette information.

2.8. Choix énonciatifs lors de l'élaboration des panneaux

Nous avons choisi de resituer le clonage par rapport aux autres techniques de reproduction utilisées pour l'espèce bovine. Nous avons produit une série de quatre panneaux évoquant successivement les méthodes de la monte naturelle, de l'insémination artificielle, de la transplantation embryonnaire et du clonage. Ces panneaux ont été conçus selon une structure scriptovisuelle homogène. Chaque panneau présente une technique et, ce, à l'aide de moyens sémiotiques identiques : un titre, un texte assez bref, structuré chaque fois en quatre paragraphes, une illustration munie d'une courte légende ; le texte est placé sur la moitié gauche et l'illustration, toujours analogique, et légendée en italique, sur la moitié droite.

Cette recherche d'une stricte régularité de la mise en forme des panneaux est évidemment destinée à favoriser la recherche d'informations par les visiteurs. L'idée sous-jacente qui impose la régularité est d'offrir la possibilité au visiteur de réinvestir l'effort initial de déchiffrage du premier panneau dans la reconnaissance des autres, tout en l'incitant à comparer les différentes techniques de reproduction bovine.

Les titres des panneaux ont une structure syntaxique homogène : ils sont composés de syntagmes introduits par des déterminants indéfinis au singulier. Les sous-titres sont également neutres, ils sont tous introduits par des formes verbales à l'infinitif. Du point de vue du contenu, les textes ne dévoilent aucune intention propagandiste ou accusatrice capable d'influencer le lecteur dans un sens ou dans l'autre.

Les contraintes de lecture cheminante, propres au média exposition, nous ont conduit à proposer un énoncé dans lequel les auteurs des recherches ne sont pas cités pour faciliter le parcours des visiteurs. Par contre, nous avons pris soin de personnaliser la technique présentée par chaque panneau en faisant apparaître dans le texte les actants des biotechnologies : l'acteur est *l'éleveur* dans la présentation de la monte naturelle ; les acteurs sont le *bouvier*, *l'inséminateur* et *l'éleveur* dans la présentation de l'insémination artificielle ; l'acteur de la transplantation embryonnaire est le *technicien* et l'acteur du clonage le *chercheur*.

Les panneaux exposent au présent le déroulement des différentes opérations réalisées par les acteurs précédemment cités. Nous n'avons pas pour autant l'intention de mettre en spectacle les biotechnologies, mais de dérouler, sous les yeux du visiteur, les gestes des utilisateurs. L'emploi du présent ancre le lecteur dans la contemporanéité de sa visite, il a une valeur monstrative, déictique. De plus, en présentant toutes les biotechnologies au présent, nous reflétons assez bien l'ambiguïté du

positionnement temporel des biotechnologies qui sont à la fois diachroniques et synchroniques. Si elles ont été mises au point successivement au cours du temps, elles constituent toutefois aujourd'hui une palette de techniques de reproduction toutes à la disposition des éleveurs qui les utilisent, ou pas, en fonction de leur niveau d'information et du type d'élevage qu'ils conduisent.

Il ne s'agit pas, dans ce type d'entreprise, d'éviter tout terme scientifique. Au contraire, le projet d'acculturation scientifique passe aussi par l'apprentissage des terminologies et ne se contente pas de l'acquisition d'un vernis lexical. Cependant, la vulgarisation ne peut prétendre assurer un apprentissage systématique des terminologies. Comme l'a remarqué Mortureux (1988) : *«les termes qu'elle [la vulgarisation] cite sont généralement isolés des ensembles conceptuels et formels qui les structurent (séries logiques hiérarchisées, séries lexicales constituées par le même procédé de formation) et leur paraphrase n'attire guère l'attention sur cette systématisme des terminologies.»*

Les premiers entretiens réalisés nous ont très vite renseigné sur les difficultés que soulèvent de telles occurrences dans le texte de panneaux. Et à l'aide de l'analyse linguistique des documents de vulgarisation, nous avons pu choisir les modalités de reformulation du jargon de spécialité qui nous semblaient pertinentes, tout en gardant en réserve des solutions alternatives.

Par exemple, dans le panneau sur le clonage (dont le texte est présenté à la fin de cet article), nous reformulons d'emblée le terme *clonage* en utilisant la métaphore de la *photocopie*. La figurabilité de cette métaphore nous paraît pertinente pour faciliter une compréhension rapide du principe. Nous nous autorisons cette métaphore qui sera explicitement dévoilée dans la description des différentes étapes constitutives du clonage. Étant donné les contraintes liées à la taille du support (qui conduit la plupart des concepteurs de panneaux à densifier leur énoncé) et au niveau de connaissances des visiteurs potentiels, la métaphore de la *greffe* nous permet, par l'ellipse qu'elle constitue, de simplifier et de synthétiser les opérations d'injection des cellules embryonnaires dans des ovocytes énucléés et d'électrofusion. La contrainte spatiale du média ne permet pas la décompaction ultérieure de cette ellipse.

Un certain nombre d'indices linguistiques dévoile l'attitude épistémologique que nous avons choisi d'adopter. En voici quelques exemples tirés du panneau sur le clonage. La phrase *«Ce projet audacieux n'était pas si facile à réaliser»* introduit la dialectique entre l'hypothèse initiale des chercheurs et les recherches actuelles. Un fragment de phrase démasque les difficultés qui persistent : *«et de nombreuses étapes posent encore problème»*. L'expression *«En réalité»* impose une cassure dans la

construction du sens. Au bout du compte, les opérations, que le visiteur vient de voir se dérouler sous ses yeux, ne donnent pas de si bons résultats et «*Sans qu'on sache très bien pourquoi*» (ainsi la science n'explique pas tout) «*les performances du clonage chutent considérablement lorsqu'on réutilise des embryons reconstitués*».

En ce qui concerne l'illustration des panneaux, nous n'avons eu ni recours à l'imagerie scientifique, ni recours à la schématisation, dont on a pu identifier certains défauts difficiles à contrecarrer. Les plages visuelles sont constituées d'images analogiques, en l'occurrence de photographies obtenues avec un objectif standard (et non des micrographies), légendées et dont les actants sont des animaux vivants. Ceci dans le parti de ne pas renforcer une préconception prégnante qui cantonne les biotechnologies dans le monde du laboratoire. Les photographies, en elles-mêmes, sont porteuses de peu d'information. Elles visent à rassurer tout en améliorant l'attractivité des panneaux.

En résumé, nos choix tournent autour de trois types de préoccupations. Le premier porte sur la nécessité d'utiliser un lexique à la portée du public. Il s'agit là, pour le scripteur, d'une part, d'accorder, autant que faire se peut, le niveau de formulation aux pré-acquis du public (ce qui suppose une évaluation préalable, qui a, rappelons-le, été réalisée), et d'autre part, de reformuler le jargon de spécialité.

Le deuxième registre de préoccupations est dominé par le type d'énonciation privilégié ; le scripteur choisit alors les modalisateurs (adverbes, temps verbaux, connecteurs...) qui sont autant de marques perceptibles par le lecteur et l'engageant à tenir à distance l'information scientifique.

Enfin, on peut aussi chercher à contrôler en partie la stratégie de reconnaissance du lecteur ; le scripteur peut ainsi, par exemple, pour aider le lecteur à identifier les informations importantes contenues dans le message, avoir recours à un marquage de la surface du texte, de type linguistique (répétitions, procédures d'emphasis...) ou paralinguistique (surlignement, marquage en gras, encadré...)

Dans le travail d'évaluation formative, qui nous a aidé à les concevoir et à les améliorer, nous avons plus particulièrement comparé deux versions des panneaux : une version initiale et une version enrichie de questions. Cette modification linguistique a poursuivi un triple but : reprendre, sous la forme d'intertitres interrogatifs, les questions que se posent les visiteurs potentiels afin de leur donner envie de lire les textes ; l'ajout d'intertitres cherchent à guider les visiteurs dans le repérage des informations importantes ; la forme interrogative, tout en suggérant l'existence d'un débat, visait à déstabiliser leurs conceptions antérieures (en quelque sorte à provoquer un conflit socio-cognitif). Les résultats indiquent, sans ambiguïté,

que le marquage de surface, comparativement à la version initiale plus sobre, est plus approprié à la lecture cheminante des visiteurs et favorise l'appropriation de connaissances.

3. UN PROCESSUS DE TRANSPOSITION SPÉCIFIQUE AUX BIOTECHNOLOGIES ?

La procédure mise en œuvre afin de sélectionner les connaissances à présenter et de procéder à des choix linguistiques au service de l'attitude épistémologique, peut être utilisée pour développer d'autres documents éducatifs. Elle encourage les enseignants à avoir une position réflexive.

Il convient d'insister sur une différence épistémologique entre certains savoirs biologiques et les savoirs biotechnologiques. L'objectif des chercheurs en biologie est de comprendre les phénomènes vivants : les données analysées et les artefacts produits sont des moyens pour atteindre cet objectif. Il convient cependant de distinguer les biologistes «expérimentaux», qui observent des objets qu'ils créent (coupes histologiques, culots de centrifugation, signaux électriques...), des biologistes de «l'observation», de la «modélisation» qui analysent un réel préexistant (milieu naturel, ...) En revanche, la finalité des biotechnologies est bien différente de celle de la biologie : elle est dans la fabrication même de nouveaux objets biologiques (cellules, molécules, nouvelles variétés animales ou végétales). La situation est alors inversée, ces fabrications sont des moyens ou objets d'étude pour le biologiste aux fins de produire des connaissances théoriques, pour les spécialistes des biotechnologies, la fabrication de ces objets est une finalité. Ainsi, les savoirs biotechnologiques combinent toujours des connaissances biologiques et des techniques d'application pouvant avoir des répercussions variées. Les biotechnologies, créant de nouveaux objets au service des besoins de l'homme, engendrent des attitudes complexes d'angoisse et d'espérance dont il convient de tenir compte dans l'étude des processus de transmission et d'appropriation de connaissances. Soit elles entraînent une perte de confiance en la propre identité de l'homme, une perte de pouvoir, soit, au contraire, elles font miroiter l'éventualité d'un dépassement de la condition humaine.

La nature spécifique des biotechnologies, et à plus forte raison quand il s'agit de savoirs syncrétiques et non stabilisés, complique la transposition et réclame que soit adoptée une démarche prudente et auto-réflexive, adaptée à la complexité de l'objet de savoir et à la nature complexe des conceptions des futurs visiteurs.

Cela se traduit, en particulier lors de la production des textes, par un contrôle précis de l'énonciation et de la textualité. L'énonciation, comme le rappelle Grize (1983), correspond au mode de prise en charge de l'énoncé par le scripteur : détermination de la valeur illocutoire (assertion, interrogation, exclamation...), degré d'adhésion à ce qu'il rapporte (croyance, doute, certitude...)

Ensuite, la séquentialité et la structuration propositionnelle construisent la textualité. Les divers connecteurs qui commandent la succession des énoncés fonctionneraient comme des indications concernant les relations (logiques, causales, temporelles) entre les contenus informationnels, et comme des instructions, adressées aux lecteurs, de traitement des informations. Adam (1992), à partir du cadre théorique d'une typologie séquentielle des textes, a défini différents prototypes : ceux des séquences narrative, descriptive, argumentative, explicative et dialogale. Du point de vue du traitement cognitif des textes, la maîtrise de ces représentations prototypiques, progressivement élaborées par les sujets au cours de leur développement, semble avoir des conséquences d'une part sur le stockage des informations traitées en cours de compréhension d'un texte et d'autre part sur la recherche des blocs d'informations par stratégies d'anticipation. Les lecteurs sont guidés par les divers connecteurs logiques, temporels... Il s'attendent, selon les cas, à une argumentation, une explication...

La nature spécifique des biotechnologies, savoirs syncrétiques et non stabilisés, induit une transposition spécifique qui légitime une démarche pluridisciplinaire (épistémologie, sociologie, didactique, linguistique) qui met en œuvre une complexité méthodologique adaptée à la complexité de l'objet de savoir concerné. L'actualité récente sur le clonage animal (la naissance de Dolly) démontre l'intérêt de l'étude historique et épistémologique de la construction des savoirs : nous assistons à un rebondissement spectaculaire qui paraît rendre justice à une hypothèse en voie d'abandon. Cette actualité nous conforte dans la conviction que les vulgarisateurs et les enseignants doivent avoir une position réflexive, et être conscients de la portée de leurs choix. La démarche proposée conduit sans doute plus à une création didactique qu'à une transposition cantonnée aux seuls savoirs savants, décontextualisés, en apesanteur sociale.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM J.-M. (1992). *Les textes : types et prototypes*. Paris, Nathan-Université.
- ALBERTINI J.-M. & BELISLE C. (1988). Les fonctions de la vulgarisation scientifique et technique. In D. JACOBI & B. SCHIELE (Éds), *Vulgariser la science, le procès de l'ignorance*. Champ Vallon, Seyssel, PUF, pp. 223-245.

- ASTOLFI J.-P. & DEVELAY M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris, PUF, Collection . Que sais-je ?
- BITGOOD S. (1989). Évaluation des musées du point de vue de la conception sociale. In B. Schiele (Éd.), *Faire voir, faire savoir*. Québec, Musée de la Civilisation, pp. 87-106.
- BLANC M. (1981). Des biologistes partisans du « meilleur des mondes ». *La Recherche*, n°121.
- EIDELMAN J., SAMSON D., SCHIELE B., & VAN PRAET M. (1993). Conception et évaluation : le principe de l'exposition de préfiguration. In *Actes du colloque REMUS des 12 et 13 décembre 1991*. Paris, pp. 24-44.
- FLETCHER J. (1971). *New England Journal of Medecine*, 285, 776, (cité par Blanc M., 1981).
- FLETCHER J., interrogé par STEINFELS P. pour *Le New York Times*, 30 octobre 1993.
- GALTON F. (1869). *Hereditary genius*. London, McMillan.
- GRIZE J.-B. (1983). Opérations et logique naturelle. In M.-J. Borel, J.-B. Grize & D. Mieville (Éds), *Essai de Logique Naturelle*. Berne, Peter Lang.
- GUICHARD J. (1990). *Diagnostic didactique pour la production d'un objet muséologique*. Thèse, Université de Genève.
- HOLTON G. (1981). *L'imagination scientifique*. Bibliothèque des Sciences humaines. Paris, Gallimard.
- JACOBI D. & SCHIELE B. (1988). La vulgarisation scientifique, Thèmes de recherche. In D. Jacobi & B. Schiele (Éds), *Vulgariser la science, le procès de l'ignorance*. Seyssel, Champ Vallon, PUF, pp. 12-46.
- JACOBI D. (1988). Notes sur les structures narratives dans un document destiné à populariser une découverte scientifique. *Protée*, vol. 16-3, pp. 107-117.
- JACOBI D. (1989). Les formes du savoir dans les panneaux des expositions scientifiques ; principes d'analyse. In B. Schiele (Éd.) *Faire voir, faire savoir*. Québec, Musée de la Civilisation, pp. 129-153.
- JACOBI D. (1994). Lexique et reformulation intradiscursive dans les documents de vulgarisation scientifique. In D. Candel (Éd), *Français scientifique et technique et dictionnaire de langue*. CNRS INaLF, Didier érudition, pp. 77-91.
- LATOUR B. (1989). *La science en action*. Paris, La Découverte.
- LAURIAN A.-M. (1988). Fonctions spécifiques du langage dans les expositions scientifiques. *Protée*, vol. 16 -3, pp. 37-40.
- LAURIAN A.-M. (1991). Muséologie et linguistique ; quels rapports ? *Communication au 2ème Congrès CSP*. Madrid.
- LEDERBERG J. (1966). *Bulletin of the Atomic Scientist*, vol. 23, n° 4, (cité par Blanc M., 1981).
- McGRATH J. & SOLTER D. (1983). Nuclear transplantation in the mouse embryo by microsurgery and cell fusion. *Science*, n° 220, pp. 1300-1302.
- MORTUREUX M.-F. (1988). La vulgarisation scientifique, parole médiane ou dédoublée. In D. Jacobi & B. Schiele (Éds), *Vulgariser la science, le procès de l'ignorance*. Seyssel, Champ Vallon, PUF, pp. 118-148.
- MORTUREUX M.-F. (1991). Impersonnel et indéfini dans un discours scientifique, L'impersonnel ; mécanismes linguistiques et fonctionnement littéraires. Grenoble, CEDITEL, pp. 199-206.
- RENARD J.-P. & HEYMAN Y. (1992). La multiplication par clonage : un nouvel outil pour la sélection animale. *Cahiers Agricultures*, vol. 1, n° 5, pp. 309-316.
- ROQUEPLO P. (1974). *Le partage du savoir*. Paris, Seuil, Collection Science ouverte.
- SAITO S., STRELCHENKO N., NIEMANN H. (1992). Bovine embryonic stem cell-like cultured over several passages. *Roux's Arch Dev Biol*. n°201, pp. 134-141.

- SPEEMAN H. (1938). *Embryonic development and induction*. New York, Hafner Publishing Co.
- STICE S.L. (1992). Multiple generation bovine embryo cloning. In *IETS Symposium on cloning*. Denver, Seidel, pp. 28-31.
- STILLMAN R.J. & HALL J.L. (1993). Experimental cloning of human polyploid embryos using an artificial zona pellucida. *Communication au Congrès conjoint de l'American Fertility Society et de la Société canadienne de fertilité et d'androgénie*. Montréal.
- WEINRICH H. (1973). *Le temps*. Paris, Seuil.
- WILMUT I., CAMPBELL K.H.S., McWHIR J., RITCHIE W.A. (1996). Sheep cloned by nuclear transfer from cultured cell line. *Nature*, vol. 380, pp. 64-66.
- WILMUT I., SCHNIEKE E., McWHIR J., KIND A.J., & CAMPBELL K.H.S. (1997). Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. *Nature*, vol. 385, pp. 810-813.

ANNEXE

Ci-dessous texte de la version enrichie de questions du panneau sur le clonage :

Le clonage d'embryons

Peut-on fabriquer une série d'individus identiques ?

Une nouvelle technologie se prépare dans les laboratoires de recherche : le clonage embryonnaire. Il s'agit en quelque sorte de photocopier un embryon donné, celui dont les qualités génétiques sont recherchées.

MYTHE OU RÉALITÉ ?

Il y a 10 ans, les chercheurs fondaient leurs travaux sur l'obtention de clones à partir de cellules d'individus adultes. Ils espéraient ainsi obtenir des individus identiques à l'individu de départ.

QU'EN EST-IL AUJOURD'HUI ?

Ce projet audacieux n'était pas si facile à réaliser. Aujourd'hui, le clonage se fait à partir de cellules embryonnaires et non pas de cellules d'un individu adulte, et de nombreuses étapes posent encore problème. Dans son laboratoire, le chercheur dissocie les cellules identiques d'un jeune embryon. Il greffe ensuite les noyaux de ces cellules dans des ovocytes

receveurs. Ces derniers sont au préalable privés de leurs propres noyaux. Il obtient ainsi des embryons identiques, tous issus du même embryon. Il les implante dans des femelles «porteuses» qui donneront naissance à des animaux parfaitement identiques. Il peut éventuellement renouveler l'opération à partir des embryons ainsi reconstitués.

En réalité, le plus grand clone obtenu par l'INRA à ce jour est constitué de cinq veaux. Sans qu'on sache très bien pourquoi, les performances du clonage chutent considérablement lorsqu'on réutilise des embryons reconstitués.

LE CLONAGE, PROBLÈME DE SOCIÉTÉ ?

L'application de telles recherches peut surprendre dans le contexte de surproduction actuel. Cette technologie soulève un débat éthique et juridique sur les manipulations d'embryons, fussent-ils animaux. Par ailleurs, certains craignent une perte de la variabilité génétique si la taille des clones devient un jour très élevée.

Expérimentation, instrumentation et argumentation

Yves GINGRAS, Benoît GODIN

Centre interuniversitaire de recherche
sur la science et la technologie (CIRST),
Université du Québec à Montréal
C.P. 8888, Suc. Centre-Ville, Montréal
Québec, Canada, H3 C 3P8

Résumé

L'objet de ce texte est de présenter un rapide survol de l'évolution historique du rôle de l'expérimentation et de l'instrumentation dans les sciences de la nature et de proposer un modèle de la dynamique de l'activité scientifique qui fasse ressortir le rôle de l'argumentation dans la validation des connaissances au sein d'un champ scientifique.

Mots clés : *expérimentation, instrumentation, argumentation.*

Abstract

This paper surveys the evolution of the role of experimentation and instrumentation in science and proposes a model of the dynamic of scientific change which insists on argumentation in the process of validation of knowledge by the scientific community.

Key words : *expérimentation, instrumentation, argumentation.*

Resumen

El objeto de este texto es de hacer una rápida presentación de la evolución histórica del rol de la experimentación y de la instrumentación en ciencias naturales y de

proponer un modelo de la dinámica de la actividad científica que insista sobre el rol de la argumentación en el proceso de validación de conocimientos dentro del campo científico.

Palabras claves : *experimentación, instrumentación, argumentación.*

1. INTRODUCTION

Les sciences de la nature sont aujourd’hui essentiellement, bien qu’à des degrés divers, expérimentales et instrumentales. Certaines, comme la physique, sont aussi fortement liées aux sciences formelles que sont les mathématiques, mais ce sont les deux premières caractéristiques qui définissent en propre, et ce depuis au moins le XVII^e siècle, les sciences qui prennent le monde matériel pour objet.

Nous voulons, par ce texte, présenter un rapide survol de l’évolution historique du rôle de l’expérimentation et de l’instrumentation dans les sciences de la nature – terme sous lequel nous regroupons les sciences physiques, chimiques et biologiques – et proposer un modèle de la dynamique de l’activité scientifique qui fasse ressortir le rôle de l’argumentation dans la validation des connaissances au sein d’un champ scientifique. Il n’est pas question de proposer un modèle éducatif de l’enseignement mais nous croyons que nos propos peuvent toutefois être utiles pour stimuler la discussion sur la place de l’expérimentation dans les situations d’apprentissage. La brièveté de ce point de vue ne nous permet pas d’aborder les rapports entre expérimentation et argumentation dans toute leur complexité historique et sociologique, mais le lecteur pourra se référer à notre bibliographie pour des analyses plus approfondies.

2. EXPÉRIENCE ET EXPÉRImentation

Depuis ce qu’il est convenu d’appeler la « Révolution scientifique du XVII^e siècle », la science se caractérise, avant tout, par son recours à l’expérimentation, activité qui est au cœur des sciences de la nature (Shapin, 1996). En effet, se met en place au cours de la première moitié de ce siècle, et à un rythme qui varie selon les domaines, une distinction de plus en plus nette entre la notion aristotélicienne d’expérience et le concept d’expérimentation. La première réfère à l’ensemble des faits particuliers qui dérivent de la perception, alors que le second renvoie plutôt à la production contrôlée d’un effet, naturel ou artificiel (Dear, 1995 ; Mansion 1987).

L'expérience aristotélicienne cherche essentiellement à illustrer et à confirmer le savoir déjà établi et ne vise pas à le remettre en question, sauf parfois en contexte polémique (Schmitt, 1969 ; Lloyd, 1990). Au contraire, l'expérimentation est plus souvent conçue comme une façon de provoquer des phénomènes ou de tester (mettre à l'épreuve) une hypothèse. Cette dernière approche mène à l'idée d'expérience cruciale (*experimentum crucis*) proposée par Francis Bacon qui vise explicitement à départager deux hypothèses ou théories rivales. Ainsi, la philosophie expérimentale de Bacon renverse la conception que les Anciens se faisaient de l'expérience. Pour ces derniers, la production contrôlée des phénomènes était contre nature et ne pouvait mener à un savoir véritable du cours naturel des choses (Grmek, 1997, pp. 59-65). Pour Bacon, au contraire, la science avance en provoquant des phénomènes nouveaux, de façon artificielle, par le biais d'instruments.

Bien sûr, la pratique de l'expérimentation n'a pas été totalement absente du monde savant avant la période classique. Les travaux récents des historiens ont bien montré que l'on en trouve quelques exemples dans la Grèce antique et hellénistique, surtout en optique et en médecine (Lloyd, 1987, 1990 ; Grmek, 1997). Le Moyen-Âge fournit aussi quelques exemples de recours à l'expérimentation, mais ils concernent des phénomènes déjà connus et ne visent pas à produire des phénomènes nouveaux (Grant, 1996). Les appels à l'expérimentation étaient le plus souvent de nature rhétorique et constituaient des arguments pour discréditer les théories adverses plutôt que des pratiques effectives visant la production de connaissances nouvelles.

En somme, l'idée d'expérimentation a des racines anciennes, mais son usage systématique ne se cristallise qu'au XVII^e siècle, grâce, entre autres, à la création d'institutions comme l'Accademia del Cimento en Italie, la Société Royale de Londres et l'Académie Royale des Sciences de Paris, lieux de rencontre et de formation d'une première communauté scientifique organisée, qui, pour faciliter la diffusion de ses travaux, se dotera, dans les années 1660, de revues comme *Le Journal des savants* et les *Philosophical Transactions of the Royal Society*.

3. NOUVEAUX INSTRUMENTS, NOUVEAUX CONCEPTS

Jusqu'au début du XVII^e siècle, tout le savoir reposait sur la perception non médiatisée des objets de la nature. L'introduction d'instruments comme le télescope, le microscope, le baromètre et la pompe à air constituent donc une transformation majeure de la pratique de la science. L'existence de ces nouveaux instruments entraîne en effet deux conséquences importantes :

– elle transforme la formulation de problèmes anciens, qui restaient purement théoriques et donnaient lieu à des débats sans fins, et rend ainsi possible leur résolution ;

– elle stimule la création de nouveaux concepts.

Il ne faudrait cependant pas associer trop étroitement expérimentation, ou même instrumentation, et quantification. En effet les premiers instruments ne servent pas à mesurer : le télescope et le microscope ne font que modifier les dimensions des objets observés. À l'origine, le tube de Torricelli (qui deviendra le baromètre) a une fonction qualitative et non quantitative. Il sert d'ailleurs de premier instrument pour expérimenter dans le vide, ce que la pompe à air de Robert Boyle continuera à faire de façon plus pratique.

Les instruments scientifiques modifient donc le rapport à la nature. On sait que la mise au point du télescope par Galilée a joué un rôle important dans la critique de la cosmologie aristotélicienne. Le savant italien s'est aussi intéressé à d'autres instruments comme le thermoscope, ancêtre du thermomètre, qui permet de mesurer les degrés de chaleur. Cet appareil constitue une première étape vers la mesure quantitative de cette « qualité » beaucoup discutée depuis l'antiquité : la chaleur. Au cours des XVII^e et XVIII^e siècles, le thermomètre deviendra plus précis et un travail de normalisation cherchant à unifier les échelles de mesure sera entrepris. Sa mise au point permettra de soulever de nouvelles questions sur la nature de la chaleur. Intuitivement, en effet, il est difficile de faire la distinction entre chaleur et température et ce n'est qu'en expérimentant avec le thermomètre que les savants seront amenés à distinguer clairement les concepts de chaleur et de température. Ici, l'instrument rend possible le concept.

Dans le cas du tube de Torricelli, c'est plutôt le concept qui précède l'appareil. En effet, Torricelli croit que le poids de l'air atmosphérique explique la hauteur atteinte par les colonnes d'eau : si la limite est de 32 pieds c'est que l'équilibre entre la pression produite par une telle colonne d'eau et la pression atmosphérique est atteint à ce niveau. Comme il l'écrit en 1644 : « *Nous vivons submergés dans un océan d'air, et nous savons par des expériences indubitables que l'air est pesant.* » (Brunschvicg, 1953, p.140) Pour tester cette hypothèse, il suggère de remplacer l'eau par le mercure. Ce dernier étant environ treize fois plus dense que l'eau, l'équilibre devrait être atteint à une hauteur treize fois moins haute. Il remplit une colonne de mercure qu'il renverse ensuite dans un récipient contenant la même substance. Il constate alors que la hauteur atteinte par le mercure est de l'ordre de grandeur prévu. Cette expérience est typique de celles qui servent à tester une hypothèse.

C'est également dans ce cadre que se place la fameuse expérience du Puy-de-Dôme conçue par Pascal. Elle consista à comparer la lecture de

deux baromètres, l'un au pied et l'autre au sommet du mont. Si le poids de l'air est vraiment responsable de la montée du liquide dans le baromètre, la colonne de liquide devrait être moins haute au sommet de la montagne qu'à sa base. Réussie, l'expérience rend la vie plus difficile à ceux qui prétendent que l'air ne pèse pas et contribue à faire accepter la thèse de Torricelli. Pascal en publie aussitôt les résultats sous le titre *Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs*. Sur le plan méthodologique, Pascal avait déjà clairement conçu l'idée de l'expérience cruciale et surtout exprimé le fait que l'expérimentation permet de réfuter des hypothèses et non de les confirmer. À propos des hypothèses, il écrit en effet que «*s'il s'ensuit quelque chose de contraire à un seul phénomène, cela suffit pour assurer de sa fausseté*» (Licoppe, 1996, p.31). C'est d'ailleurs cette asymétrie entre l'induction et la déduction qui fonde l'idée d'expérience cruciale ou «*décisive*» pour reprendre le terme de Pascal.

L'appareil de Torricelli n'a pas seulement permis de poser - et de résoudre - la question du poids de l'air, il a aussi rendu possible les premières expérimentations dans l'espace vide au-dessus du mercure. En effet, que contenait cet espace apparemment vide de toute matière ? La question de l'existence du vide est, bien sûr, ancienne et les traités médiévaux commentant Aristote l'ont beaucoup discutée (Schmitt, 1967 ; Grant, 1981). Ce qui est nouveau au XVII^e siècle, c'est, on l'a dit, la mise au point d'instruments qui vont transformer la façon d'aborder cette question.

Pour connaître la nature de l'espace apparemment vide au-dessus de la colonne de mercure, Torricelli et ses disciples y avaient introduit divers objets et des organismes vivants. Cependant, du point de vue pratique l'accès à cet espace de dimension réduite n'était pas facile et il faut attendre la mise au point de la pompe à air, dite alors «pompe pneumatique», du savant anglais Robert Boyle (1627-1691) pour faciliter ce genre d'expériences et en arriver à un consensus, au sein du monde savant, sur la nature du vide.

Construite en 1659 par son assistant Robert Hooke, la pompe à air constitue une transformation de l'appareil de Otto von Guericke mis au point au milieu des années 1650 (Shapin & Schaffer, 1985). La machine de Boyle donne plus facilement accès à un espace suffisamment grand pour faire toutes sortes d'expériences en incorporant des objets dans la machine avant de commencer le pompage de l'air.

Plusieurs des observations que Boyle rapporte méticuleusement dans son livre *New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of Air*, paru en 1660, ne visent pas à tester une hypothèse mais à produire des faits nouveaux. Entre les mains de Boyle et de Hooke, l'instrument sert, en quelque sorte, la philosophie de Lord Francis Bacon.

Pour l'époque, cet appareil était très coûteux et nécessitait la présence de techniciens compétents. Au moment où Boyle publie ses résultats, il n'existait pas plus de quatre pompes à air dans toute l'Europe. Aussi, leur rareté et leur sophistication technique soulevaient les mêmes problèmes de réplication des résultats si souvent évoqués dans la sociologie contemporaine de la science (Shapin & Schaffer, 1985). Par exemple, l'un des tout premiers chercheurs à vouloir suivre Boyle dans ce genre de recherche fut Christian Huygens qui fit construire sa propre pompe à air à Paris. Cependant, au début, il ne réussit pas à la faire fonctionner sans Boyle qui était obligé d'aller à Paris pour surveiller la mise en marche de l'instrument, instrument qui était similaire, mais non identique, au sien car il utilisait une chambre en cuivre plutôt qu'en bois. Ainsi Huygens pouvait prétendre que les différences dans les résultats obtenus par les deux chercheurs étaient dues au fait que son instrument était plus perfectionné.

4. REPRODUCTIBILITÉ ET FLEXIBILITÉ INTERPRÉTATIVE DES OBSERVATIONS

L'accès limité à des appareils coûteux créait de nouvelles difficultés pour la reproduction des expériences. Par exemple, dans la controverse entourant les expériences de Lavoisier sur la synthèse de l'eau, son rival, Joseph Priestley, qui utilisait des montages expérimentaux relativement simples, rétorquait qu'il s'en tiendrait à ses propres résultats aussi longtemps que les chimistes français feraient leurs expériences avec des appareils coûteux et d'utilisation délicate (Golinski, 1994). En somme, à cette époque comme d'ailleurs aujourd'hui, il n'était pas facile d'en arriver à un consensus sur la nature des effets observés - et dans certains cas sur l'existence même de ces effets. Ce n'est, le plus souvent, qu'à moyen terme qu'un fait ou une interprétation nouveaux finissent par s'imposer.

Comme celle d'expérience, l'idée de reproduction ou de répétition des observations a des racines anciennes. Pour Aristote une expérience est le résultat de l'observation répétée, qui rend possible la démonstration (Aristote, 1979, p. 148 ; Mansion, 1987). Alors qu'Aristote et ses disciples admettent, contrairement aux sceptiques, la fiabilité des sens, l'usage d'instruments soulève à nouveau la question du sceptique : quelle valeur accorder aux résultats produits par des instruments ? Comment savoir si ce ne sont pas des artefacts ? L'importance de ces questions a été mise en lumière, à compter du milieu des années 1970, par les travaux des sociologues des sciences. Étudiant en détail la façon dont les scientifiques discutent la question de la reproduction des résultats expérimentaux obtenus par un instrument sophistiqué, Harry Collins (1974, 1975, 1985) a mis en évidence

la complexité des discussions entourant la reproduction d'un phénomène expérimental.

Pour justifier l'usage de la lunette, Galilée pouvait faire valoir que, puisque l'appareil fonctionne bien dans le cas des objets terrestres, il n'y avait pas de raison pour qu'il ne fonctionne pas pour les objets célestes plus éloignés – bien que certains soutenaient le contraire en invoquant la distinction entre le monde sub-lunaire et le monde supra-lunaire (Van Helden, 1994). Dans le cas des ondes gravitationnelles, étudié par Collins, la situation est plus complexe car de telles ondes n'ont encore jamais été détectées par des instruments terrestres. Comment savoir alors si le détecteur construit spécialement pour enregistrer leur passage fonctionne correctement ? Pour un chercheur convaincu de l'existence de ces ondes, leur détection constitue une preuve que l'appareil fonctionne bien, alors que pour quelqu'un qui nie la possibilité de détecter de telles ondes sur Terre, la présence d'un signal sera le fait d'un artefact expérimental. Collins réfère à ce problème de circularité en parlant de «régression de l'expérimentateur» (traduction littérale de «*experimenter's regress*»).

En fait, la circularité n'existe pas vraiment si l'on considère d'autres facteurs qui affectent la prise de décision, comme les méthodes d'analyse des données, la cohérence avec d'autres faits ou théories, etc. (Hesse, 1986 ; Franklin, 1994). L'analyse des pratiques expérimentales fait aussi ressortir l'importance de la «*flexibilité interprétative*» des résultats d'expérience, qui dépend de ce que l'on peut appeler leur «*degré d'externalité*» (Pinch, 1986). En effet, plus l'expérimentation est instrumentée et s'éloigne de l'observation directe des phénomènes, plus la chaîne des inférences est longue et plus l'interprétation finale dépend de la solidité de chacun des maillons de l'argumentation. Il est donc important de bien comprendre que les objets de la science sont le plus souvent, à toute fin pratique, invisibles. L'oxygène de Lavoisier, l'électron de Thomson etc., ne sont pas connus directement mais seulement *via* leurs manifestations dans des situations provoquées par l'expérimentation. Dès lors, on comprend qu'une controverse scientifique est d'autant plus probable que l'énoncé s'éloigne du «sens commun» propre à une discipline donnée. Par exemple, dans le cas de la fusion froide, la controverse n'aurait probablement pas eu le même retentissement si, au lieu de déclarer avoir observé de la fusion nucléaire, les auteurs avaient simplement dit avoir produit un excès de chaleur dans une réaction chimique. Ce dernier est en effet chimiquement plus facile à mesurer et un tel énoncé a un «degré d'externalité» plus faible que l'énoncé «observation d'un processus de fusion nucléaire», lequel constitue une inférence risquée car les deux chimistes ne possédaient pas l'expertise et les instruments nécessaires (détecteurs de neutrons ou de rayons gamma, par exemple) pour fonder une telle assertion.

5. EXPÉRIMENTATION ET ARGUMENTATION

Au centre de tout le processus de production et de validation des «faits scientifiques», c'est la dynamique même de l'argumentation et de la contre-argumentation, bref du dialogue, qui permet de diminuer la flexibilité interprétative des données et ainsi d'arriver à un consensus au sein de la communauté scientifique à un moment donné.

De façon schématique, et pour reprendre l'ancienne métaphore de l'interrogation de la nature, on peut se représenter l'activité scientifique comme un dialogue à trois niveaux. Au premier, elle est un dialogue entre le scientifique et la nature. Bien sûr, celle-ci ne parle pas et c'est en fait le scientifique qui parle d'elle et surtout interagit avec elle par le biais d'instruments plus ou moins sophistiqués. Il construit alors des théories (et des modèles) qui visent à rendre raison des phénomènes observés. Le scientifique ne construit pas ses explications de façon totalement libre. La nature résiste et le force ainsi à modifier ses théories et ses instruments pour tenir compte de nouveaux phénomènes. (Gingras & Schweber, 1986 ; Gingras, 1997).

À un second niveau, l'activité scientifique peut être conçue comme un dialogue entre l'expérimentation instrumentée et les théories du phénomène étudié (Lenoir, 1988) et de l'appareil - théories qui ne sont généralement pas les mêmes de sorte qu'il n'y a pas de véritable cercle vicieux. Depuis les travaux de Duhem, Quine, Hanson, Kuhn et Feyerabend, on sait que les théories ne sont pas en relation bi-univoque avec les données. On dit qu'elles sont «sous-déterminées» (underdetermined). Les expériences sont donc, à des degrés divers, imprégnées de théories. Cependant, cette sous-détermination n'est que partielle car c'est moins la relation entre un phénomène donné et la théorie qui est jugée que l'ensemble du réseau déjà tissé entre phénomènes et théories (Hesse, 1986). C'est donc en regard de la cohérence globale d'une interprétation, toujours évaluée de façon pragmatique par les scientifiques, que se forment les consensus.

À un troisième niveau, l'activité scientifique est un dialogue – plus précisément une argumentation – entre experts, c'est-à-dire entre le scientifique qui propose un phénomène ou une interprétation, et la communauté des pairs à laquelle il appartient. Le scientifique doit ici convaincre ses collègues du bien-fondé de ce qu'il avance en fournissant à ceux-ci de bonnes raisons de croire à ses énoncés. La possibilité d'une dialectique de l'argumentation et de la contre-argumentation est rendue possible par une communauté de culture : le scientifique conçoit son expérimentation à la lumière de ce qui est connu et admis, dans le but de prévenir et de contrer les critiques (Perelman, 1988 ; Kitcher, 1991). Il cesse

d'expérimenter et présente alors ses résultats à ses pairs lorsqu'il estime que son travail est conforme aux standards de réception et lorsqu'il s'estime suffisamment certain de ses résultats (Galison, 1987).

En principe, un argument est jugé pertinent si les raisons avancées participent aux théories et aux faits acceptés, et s'il résiste aux objections présentées. Ainsi, dans son commentaire sur son expérience de 1785 à propos de la synthèse de l'eau, Lavoisier notait que les preuves de la décomposition et de la recomposition de l'eau étant de l'ordre démonstratif, c'est seulement par des expériences démonstratives du même ordre qu'elles pouvaient être attaquées (Golinski, 1994). Il indiquait ainsi à ses collègues et opposants les règles à suivre pour le contester et imposait aussi le recours à des expériences et des appareils permettant d'atteindre le même degré de précision. Le débat se termine lorsque plus personne n'argumente (Pera, 1991) ou lorsque les opposants sont devenus marginaux au sein de la communauté. Ainsi, la compétence seule du chercheur ne suffit pas à clore un débat et un fait scientifique n'est jamais évident par lui-même. Il est plutôt le résultat d'un consensus au sein d'une communauté dont les membres considèrent disposer (à un moment donné) de la meilleure explication (Popper, 1962 ; Shapere, 1991). Bien sûr, seul un petit nombre de chercheurs participe activement au débat à un moment donné et tous n'ont pas la même crédibilité dans les échanges d'arguments, de sorte que l'importance accordée à un argument plutôt qu'à un autre n'est pas uniquement déterminée par son caractère intrinsèque mais dépend aussi de variables sociales (lieu de publication, autorité et position institutionnelle de l'auteur, etc.)

En somme, le champ scientifique est le lieu d'un contrôle social et intellectuel du travail scientifique (Bourdieu, 1975). Bachelard ne disait pas autre chose en 1938 : «*Nous proposons de fonder l'objectivité sur le comportement d'autrui [...] ; toute doctrine de l'objectivité en vient toujours à soumettre la connaissance de l'objet au contrôle d'autrui.*» (Bachelard, 1972) Paraphrasant Wittgenstein, nous écrivons : il n'y a pas de science privée. Cesser d'échanger des arguments ou de produire de nouvelles données (expérimentales ou théoriques) équivaut à cesser de faire de la science (Gingras, 1995).

6. ENSEIGNEMENT ET EXPÉRIEMENTATION

Étant donné la complexité des rapports entre expérimentation, instrumentation et argumentation dans un champ scientifique, on comprend que la place accordée à la pratique expérimentale en milieu scolaire ait fait l'objet de nombreuses critiques. On lui reproche, entre autres choses, de ne pas bien refléter la pratique scientifique et de ne servir qu'à illustrer des théories déjà apprises, plutôt qu'à inciter les étudiants à construire ce savoir

par eux-mêmes comme le feraient des chercheurs à la fine pointe de leur discipline (Hodson, 1988, 1996). Cela étant dit, la présentation par Michel Giuseppin des différentes fonctions des activités expérimentales dans l'enseignement secondaire et supérieur montre bien que l'expérimentation demeure essentielle au processus d'apprentissage des sciences (Giuseppin, 1996).

Tant du point de vue historique que sociologique, l'expérimentation se fait toujours en regard d'un certain état du savoir qu'elle vise à modifier ou à renforcer. La compréhension du caractère social et argumentatif de la production du savoir rappelle aussi que la science serait impossible sans la confiance accordée aux résultats déjà accumulés (Shapin, 1994). Il est en effet impossible de sans cesse tout remettre en question comme le ferait un sceptique radical. Kuhn (1963) a déjà insisté sur le rôle du dogme en science. Le scepticisme du savant ne s'exerce jamais que sur une portion bien définie du savoir accumulé. Et c'est ce savoir accepté par la communauté scientifique que l'on retrouve dans les manuels sans qu'il soit constamment nécessaire de refaire les expériences. En d'autres termes, les manuels sont eux-mêmes l'émanation du consensus de la communauté scientifique et le fait d'apprendre ces savoirs à l'école sans nécessairement les construire soi-même reflète bien la situation réelle de confiance qui, seule, rend possible l'avancement des sciences. Bien sûr, le passage de la science de pointe à sa présentation pédagogique est complexe et sinueux mais il demeure que le contenu reflète un état du savoir sanctionné par la communauté scientifique. Il suffit pour s'en convaincre *a contrario* d'imaginer les protestations qui émaneraient des associations de scientifiques découvrant des manuels de chimie présentant la fusion froide comme un fait accepté...

Les manipulations expérimentales en situation d'apprentissage scolaire peuvent, dès lors, servir à mieux comprendre les liens complexes entre expérimentation et explication des phénomènes dont nous avons parlé, sans donner l'illusion qu'il s'agit de découvrir soi-même des lois connues depuis des siècles. Les échanges en classe et les difficultés rencontrées lors des manipulations peuvent alors être présentées comme l'analogie de l'argumentation intersubjective régie par les règles du champ scientifique (Bourdieu, 1975). L'étudiant qui obtient des résultats différents de ceux de ses collègues devant alors expliquer pourquoi il en est ainsi et répondre aux objections formulées par ses collègues ou par le professeur. S'instaure alors une certaine réflexion, non seulement sur les caractéristiques techniques de l'expérimentation (savoir tacite, différences d'habileté des étudiants, etc.), mais également sur la dynamique sociale sous-jacente à toute pratique scientifique. Le laboratoire devient lui-même un modèle expérimental de la science en action qui ne vise plus l'utopie cartésienne de la construction individuelle du savoir mais rappelle, au contraire, l'importance des conditions sociales du progrès des sciences.

BIBLIOGRAPHIE

- APEL K.O. (1980). *Towards a Transformation of Philosophy*. London, Routledge.
- BACHELARD G. (1972). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin [1938].
- BACHELARD G. (1991). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris, PUF [1934].
- BACHELARD G. (1994). *Le rationalisme appliqué*. Paris, PUF [1949].
- BOURDIEU P. (1975). Le champ scientifique et les conditions sociales du progrès de la raison. *Sociologie et sociétés*, vol. 7, n° 1, pp. 91-117.
- BRUNSCHVICG L. (1953). *Blaise Pascal*. Paris, Vrin.
- COLLINS H.M. (1974). The TEA-Set : Tacit Knowledge and Scientific Networks. *Science Studies*, vol. 4, pp. 165-186.
- COLLINS H.M. (1975). The Seven Sexes : A Study in the Sociology of a Phenomenon of the Replication of Experiments in Physics. *Sociology*, vol. 9, pp. 205-224.
- COLLINS H.M. (1985). *Changing Order : Replication and Induction in Scientific Practice*. London, Sage.
- DEAR P. (1995). *Discipline and Experience : The Mathematical Way in the Scientific Revolution*. Chicago, Chicago university Press.
- FRANKLIN A. (1994). How to Avoid the Experimenter's Regress. *Studies in the History and Philosophy of Science*, vol. 25, pp. 463-491.
- GALISON P. (1987). *How Experiments End*. Chicago, Chicago University Press.
- GINGRAS Y. & SCHWEBER S.S. (1986). Constraints on Construction. *Social Studies of Science*, vol. 16, pp. 372-383.
- GINGRAS Y. (1995). Un air de radicalisme. Sur quelques tendances récentes en sociologie de la science et de la technologie. *Actes de la recherche en sciences sociales*, n° 108, juin 1995, pp. 3-17.
- GINGRAS Y. (1997). The New Dialectic of Nature. *Social Studies of Science*, vol. 27, may 1997, pp. 317-334.
- GIUSEPPIN M. (1996). Place et rôle des activités expérimentales en sciences physiques. *Didaskalia*, n° 9, pp. 107-118.
- GOLINSKI J. (1994). Precision Instruments and the Demonstrative Order of Proof in Lavoisier's Chemistry. *Osiris*, vol. 9, pp. 30-47.
- GOODING D, PINCH T, & SCHAFFER S. (1989). *The Uses of Experiment : Studies in the Natural Sciences*. Cambridge, Cambridge University Press.
- GRANT E. (1981). *Much Ado About Nothing. Theories of Space and Vacuum from the Middle Ages to the Scientific revolution*. Cambridge, Cambridge University Press.
- GRANT E. (1996). *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages*, Cambridge, Cambridge university Press.
- GRMEK M. D. (1997). *Le chaudron de Médée. L'expérimentation sur le vivant dans l'Antiquité*. Paris, Synthélabo.
- HABERMAN J. (1991). *De l'éthique de la discussion*. Paris, Cerf.
- HESSE M. (1986). Changing Concepts and Stable Order. *Social Studies of Science*, vol. 16, pp. 714-726.
- HODSON D. (1988). Experiments in Science and Science Teaching. *Educational Philosophy and Theory*, vol. 20, pp. 53-66.
- HODSON D. (1996). Laboratory Work as Scientific Method : Three Decades of Confusion and Distortion. *Journal of Curriculum Studies*, vol. 28, pp. 115-135.

- KITCHER P. (1991). Persuasion. In M. Pera and W.R. Shea (Éds), *Persuading Science : The Art of Scientific Rhetoric*. Canton, Science History Publications, pp. 3-27.
- KUHN T. (1963). The Function of Dogma in Scientific Research. In A. C. Crombie (Éd.), *Scientific Change*. London, pp. 347-369.
- LENOIR T. (1988). Practice, Reason, Context : The Dialogue Between Theory and Experiment. *Science in Context*, vol. 2, pp. 3-22.
- LICOPPE C. (1996). *La formation de la pratique scientifique*. Paris, La Découverte.
- LLOYD G.E.R. (1987). *The Revolution of Wisdom*. Berkeley, University of California Press.
- LLOYD G.E.R. (1990). *Magie, raison et expérience*. Paris, Flammarion.
- MANSION A. (1987). *Introduction à la physique d'Aristote*. 2ème édition revue et augmentée. Louvain-La-Neuve, Éditions de l'Institut supérieur de philosophie.
- PERA M. (1991). The Role and Value of Rhetoric in Science. In M. Pera and W.R. Shea. (Éds). *Persuading Science : The Art of Scientific Rhetoric*. Canton, Science History Publications, pp. 29-54.
- PERELMAN C. (1963). Self-Evidence and Proof. In C. Perelman, *The Idea of Justice and the Problem of Argument*. London, Routledge, pp. 109-124.
- PERELMAN C. & OLBRECHTS-TYTECA L. (1988). *Traité de l'argumentation*. Bruxelles, Éditions de l'Université de Bruxelles.
- PINCH T. (1986). Toward an Analysis of Scientific Observation : The Externality and Evidential Significance of Observation Reports in Physics. *Social Studies in Science*, vol. 15, n° 1, pp. 3-36.
- POPPER K.R. (1962). *Conjectures and Refutations*. New York, Harper and Row.
- SCHMITT C.B. (1967). Experimental Evidence For and Against a Void : The Sixteenth-Century Arguments. *Isis*, vol. 58, pp. 352-366.
- SCHMITT C.B. (1969). Experience and Experiment : A Comparison of Zabarella's View With Galileo's De Motu. *Studies in the Renaissance*, vol. 16, pp. 80-138.
- SHAPER D. (1991). On Deciding What to Believe and How to Talk About Nature. In M. Pera and W.R. Shea (Éds), *Persuading Science : The Art of Scientific Rhetoric*. Canton, Science History Publications, pp. 89-103.
- SHAPIN S. (1994). *A Social History of Truth*. Chicago, University of Chicago Press.
- SHAPIN S. (1996). *The Scientific Revolution*. Chicago, University of Chicago Press.
- SHAPIN S. & SCHAFFER S. (1985). *Leviathan and the Air-Pump : Hobbes, Boyle and the Experimental Life*. Chicago, University of Chicago Press.
- WINCH P. (1958). *The Idea of a Social Science and Its Relation to Philosophy*. London, Routledge.

COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

Les répercussions d'une évaluation des capacités expérimentales dans les pratiques de l'enseignement des sciences physiques : compte rendu d'innovation

Françoise PATRIGEON

Lycée Joliot Curie
92 000 Nanterre, France.

Christiane SIMON

Lycée Jean-Jacques Rousseau
95203 Sarcelles, France.

Résumé

Cet article propose des exemples de séquences d'enseignement conçues à partir d'un même sujet d'expérience, décrivant des activités expérimentales, réalisées par des élèves, permettant des approches différentes. La réflexion s'est portée sur le contenu des travaux pratiques afin de mieux cibler leurs objectifs et d'optimiser la formation des élèves.

Mots clés : *démarche expérimentale, formation, évaluation.*

Abstract

This article presents teaching examples elaborated on the basis of the same experimental topic, describing experimental activities, carried out by pupils, making different approaches possible. We have studied practical work in order to define better their targets and optimize pupils training.

Key words : *experimental approach, training, pupils evaluation.*

Resumen

Este artículo presenta un grupo de ejemplos de secuencias de enseñanzas concebidas a partir de un mismo sujeto de experiencia, describiendo las actividades experimentales, realizadas por los alumnos, permitiendo puntos de vistas diferentes. La reflexión es dada sobre el contenido de los trabajos prácticos a fin de mejor precisar sus objetivos y de optimizar la formación de los alumnos.

Palabras claves : *procedimiento experimental, formación, evaluación.*

INTRODUCTION

Depuis quelques années, des épreuves d'évaluation d'activités expérimentales sont testées. La mise en place de ce dispositif a suscité une réflexion sur le rôle de l'expérience dans l'enseignement des sciences physiques, sur l'apprentissage des savoir-faire expérimentaux et sur la formation des élèves. Suite à un article de Michel Giuseppin, paru dans cette revue, il nous a semblé intéressant de présenter des exemples concrets d'apprentissage et de formation.

Notre participation au groupe national chargé de construire un dispositif d'évaluation des savoir-faire expérimentaux nous a amenées à réfléchir sur nos pratiques d'enseignement :

«Evaluer, oui, mais tout d'abord, former !»

Cette formation doit indiscutablement débiter en classe de seconde des lycées, voire même au collège.

Dans un premier temps, pour cibler le contenu de la formation, nous avons listé ce qu'il convenait de faire :

- apprendre à l'élève à se servir d'un matériel spécifique (multimètre, oscilloscope, burette...), afin de connaître parfaitement son utilisation,
- apprendre à l'élève à suivre un protocole simple,

– et pourquoi pas, apprendre à l'élève à imaginer un protocole...

Cette première et modeste liste étant établie, nous nous sommes alors attachées à déterminer les cadres de ces différents apprentissages.

1. QUELS TYPES DE TRAVAUX PRATIQUES (TP) RÉALISONS-NOUS AU LYCÉE ?

À partir de formulations différentes d'une même activité expérimentale, portant sur l'étude de la réfraction de la lumière en classe de seconde, nous allons essayer de clarifier et de limiter le nombre des objectifs à atteindre lors d'une séance.

Il peut être utile de préciser que la durée d'une séance est de 1h 30, l'effectif étant d'une demi-classe, soit, en moyenne, 18 élèves regroupés en «binômes».

1.1. Une séance de TP «classique»

Les séances de TP occupent une place considérable dans notre enseignement, et, bien souvent, se déroulent ainsi : l'élève, muni de sa «fiche de TP», doit effectuer un certain nombre de manipulations propres à lui faire «découvrir» les différents paramètres d'une loi. Mais les élèves savent-ils vraiment utiliser le matériel qu'ils ont entre les mains ?

N'espère-t-on pas un peu qu'ils apprennent à s'en servir en même temps qu'ils répondent à des exigences très diverses bien souvent d'ordre théorique ?

En analysant une séance de ce type, on s'aperçoit qu'on cherche souvent à induire un résultat (une conclusion d'observation, une valeur numérique, un modèle de comportement...) chez des élèves tiraillés par toutes sortes d'objectifs, et maîtrisant souvent très mal les outils mathématiques.

Dans tout l'article, le texte encadré donne le contenu de la «fiche de TP» destinée aux élèves.

CONTENU DE LA SÉANCE

Connaissances exigibles pour aborder ce contenu

Une expérience mettant en évidence le phénomène de réfraction a été montrée.

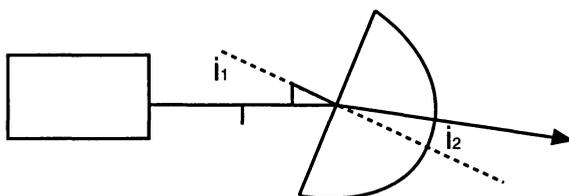
Le vocabulaire (rayon incident, rayon réfracté, angle d'incidence, angle de réfraction) a été explicité ou le sera dès le début de la séance.

Matériel

Dispositif comportant une lanterne munie d'un cache permettant d'isoler un fin faisceau de lumière, un disque gradué et un hémicylindre en plexiglas.

Calculatrice.

Schéma du dispositif



Objectif

Vérifier la loi de Descartes relative aux angles, pour la réfraction.

Protocole

Régler le dispositif de manière à ce que le faisceau lumineux pénètre dans l'hémicylindre en passant par le centre de sa face plane.

Donner à l'angle d'incidence i_1 les valeurs successives inscrites dans le tableau ci-dessous, mesurer l'angle de réfraction i_2 correspondant.

i_1	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	65,0	75,0	80,0	85,0
i_2												
$\sin i_1$												
$\sin i_2$												
$\sin i_1 / \sin i_2$												

Exploitation des mesures

- Compléter le tableau en calculant la valeur de $\sin i_1$, $\sin i_2$, puis le rapport $\sin i_1 / \sin i_2$
- Rédiger un compte rendu de manipulation dans lequel vous expliquerez vos conclusions.

COMMENTAIRES

• À propos de l'utilisation d'un matériel «tout prêt»

Le dispositif proposé, fréquent dans les classes de lycée, est conçu d'une manière ingénieuse qui échappe le plus souvent à l'élève, car il n'est amené à se poser aucune question sur le bien-fondé de son utilisation. Il faut s'assurer que l'élève a parfaitement compris comment repérer l'angle d'incidence par rapport à la normale au dioptre car bien souvent il fait l'opération de repérage par rapport à la figure sans réfléchir plus amplement.

Ce qu'on appelle «rayon» n'est en fait que la trace d'un faisceau de lumière parallèle, vertical, sur le disque gradué placé horizontalement.

À la sortie du plexiglas le rayon ne subit pas de réfraction et le rayon ressort «tout droit», c'est une astuce de conception qui peut totalement échapper à l'élève.

On sait que ce dispositif permet de bonnes conditions de mesures, le repérage des angles étant satisfaisant à chaque rotation de l'hémicylindre, puisque celui-ci est maintenu rigidement sur un disque gradué, mais sa simplicité d'utilisation n'est qu'apparente puisque la forme hémicylindrique permet une sortie du rayon sans réfraction au passage du dioptre plexiglas-air et, par ailleurs, la normale à la surface d'entrée est déjà repérée sur le disque gradué.

• À propos de l'objectif de la manipulation

Après avoir manipulé, pendant 15 minutes environ, un matériel dont il n'a pas forcément cerné tout l'intérêt, l'élève va passer le reste de la séance à faire des calculs qui le mèneront à un résultat quelque peu induit par la forme du tableau. En effet, l'objectif déclaré étant assez flou, la seule conclusion à laquelle on peut s'attendre est la suivante : la dernière ligne du tableau donne à peu près toujours le même résultat. C'est sans doute la seule découverte que l'élève peut faire au cours de cette activité !

On refuse à l'élève toute autonomie dans le déroulement de l'expérience ; on ne peut s'attendre à ce qu'il fasse preuve d'initiative dans son compte rendu en commentant judicieusement ses mesures ou en argumentant ses résultats. Le compte rendu sera le reflet de la feuille de TP, très classique, sans surprise, et ne contribuera que très faiblement à l'acquisition de savoir-faire et de méthodes.

• Comment faire évoluer nos pratiques ?

L'utilisation du temps des séances de travaux pratiques pourrait être optimisée en précisant davantage les objectifs visés au cours des activités. Nous vous proposons trois exemples d'activités expérimentales dont les objectifs respectifs diffèrent notablement.

Ainsi, selon le niveau de la classe, l'avancement du cours ou bien le matériel dont dispose l'établissement, il sera possible de choisir un type d'activité expérimentale en fonction des objectifs qui permettront de faire progresser au mieux les élèves. Il est bien entendu impossible de décliner toutes les séances de TP en trois versions d'un même thème, l'année ne suffirait plus à traiter le programme !

1.2. Des objectifs plus réalistes

Les travaux pratiques que nous réalisons au lycée peuvent s'inscrire dans trois types d'activités différentes.

1.2.1. Premier type d'activité : «Juger de la validité d'une loi»

L'objectif de ce type d'activité est de chercher un modèle mathématique qui permette d'interpréter au mieux une série de mesures et de confronter les résultats expérimentaux à l'énoncé d'une loi pour juger de sa validité dans les conditions expérimentales où l'on a travaillé.

CONTENU DE LA SÉANCE

Connaissances exigibles pour aborder ce contenu

Une expérience mettant en évidence le phénomène de réfraction a été montrée par le professeur.

Le vocabulaire (rayon incident, rayon réfracté, angle d'incidence, angle de réfraction) a été explicité ou le sera dès le début de la séance.

Matériel

Dispositif comportant une lanterne munie d'un cache permettant d'isoler un fin faisceau de lumière, un disque gradué et un hémicylindre en plexiglas.

Calculatrice ou ordinateur muni d'un logiciel tableur-grapheur.

Savoir-faire expérimentaux déjà acquis ou en cours d'apprentissage

Savoir repérer un angle d'incidence et de réfraction.

Savoir utiliser le dispositif comportant la lanterne et l'hémicylindre sur un disque gradué en degré.

Utiles pour optimiser l'objectif :

*Savoir utiliser une calculette pour faire des représentations graphiques.
ou*

Savoir utiliser un tableur-grapheur sur un ordinateur.

Objectif

Partant d'une série de mesures de couples de valeurs (i_1, i_2) chercher, parmi divers essais de modèles mathématiques, la relation entre i_1 et i_2 qui convient le mieux pour rendre compte des résultats obtenus.

Protocole

Faire les réglages nécessaires pour utiliser le dispositif dans de bonnes conditions.

Faire une série d'une quinzaine de mesures de couples de valeurs (i_1, i_2).

Exploitation des mesures

En utilisant la calculette graphique ou le tableur de l'ordinateur ou à défaut du papier millimétré, placer dans un système d'axes (i_2 vertical et i_1 horizontal) les points expérimentaux correspondant à chaque couple de mesures.

La modélisation par une droite de cet ensemble de points vous paraît-elle satisfaisante ?

Un physicien, nommé Képler, jugea devant une série de mesures telle que la vôtre que la loi $i_2 = k \cdot i_1$ pouvait assez bien convenir pour des petits angles. Qu'en pensez-vous ? Déterminer dans quel intervalle de valeurs de i_1 cette loi convient assez bien.

Un physicien nommé Descartes formula une relation de proportionnalité entre les grandeurs $\sin i_1$ et $\sin i_2$ valable pour tous les angles d'une série de mesures telle que la vôtre. Placer, dans un système d'axes ($\sin i_2$ vertical et $\sin i_1$ horizontal), les points expérimentaux.

La modélisation par une droite de cet ensemble de points vous paraît-elle satisfaisante ?

Conclusion

Quelle est la relation entre i_1 et i_2 qui traduit le meilleur accord avec l'expérience qui vient d'être menée ?

COMMENTAIRES

Bien que le matériel et son utilisation soient identiques dans les deux exemples l'esprit n'est plus le même :

– d'une part l'autonomie de l'élève est plus grande puisque l'élève doit faire les réglages préliminaires (et savoir en quoi cela consiste !) et gérer la construction de son tableau de mesures,

– d'autre part, les mesures sont davantage exploitées, l'élève ne travaille pas «en aveugle» en remplissant les cases vides d'un tableau, on lui fait emboîter le pas de grands noms de la physique, un esprit de découverte s'installe.

La question posée dans la conclusion reprend l'objectif de la séance, elle est formulée de manière précise.

On notera qu'ici c'est véritablement le modèle qui est mis en exergue, et il importe peu de faire faire des calculs de coefficients directeurs de droite aux élèves mais bien davantage de savoir si la droite sera un modèle adéquat ou non.

1.2.2. Deuxième type d'activité : «exploitation d'un modèle ou d'une loi»

L'élève connaît les lois et les modèles relatifs aux phénomènes qu'il va observer. On lui demande d'utiliser un modèle connu dans l'intention d'étudier, par exemple, l'influence d'un paramètre. Ce type de TP permet de laisser un peu plus d'autonomie aux élèves puisqu'ils sont censés posséder les outils théoriques. Ce peut être une occasion d'affermir les savoir-faire expérimentaux, l'élève étant libéré des tâches visant à des pseudo-découvertes.

CONTENU DE LA SÉANCE

Connaissances exigibles pour aborder ce contenu :

Les lois de Descartes sont connues, le phénomène de réflexion totale également.

Matériel

Dispositif comportant une lanterne munie d'un cache permettant d'isoler un fin faisceau de lumière, un disque gradué et un hémicylindre en plexiglas.

Calculatrice.

Savoir faire expérimentaux déjà acquis ou en cours d'apprentissage

Savoir repérer un angle d'incidence et de réfraction.

Savoir utiliser le dispositif comportant la lanterne et l'hémicylindre sur un disque gradué en degré.

Objectifs

Déterminer l'indice de réfraction du plexiglas en utilisant deux méthodes différentes :

- l'une nécessitant la mesure d'un angle d'incidence et d'un angle de réfraction,
- l'autre utilisant le phénomène de réflexion totale.

Réfléchir, dans chaque cas, à la précision de la mesure.

Travail à réaliser

Réaliser la première expérience :

- éclairer l'hémicylindre en plexiglas de manière à faire se réfracter la lumière sur sa surface plane,
- choisir un angle d'incidence qui permette une lecture suffisamment précise et mesurer l'angle de réfraction associé,
- en déduire une valeur de l'indice de réfraction du plexiglas.

Réaliser la deuxième expérience :

- éclairer l'hémicylindre en plexiglas de manière à obtenir un phénomène de réflexion totale sur sa face plane,
- rechercher l'angle de réfraction limite,
- en déduire une valeur de l'indice de réfraction du plexiglas.

Réfléchir aux arguments que vous pourrez apporter, lors de la mise en commun des résultats, pour faire une critique des deux méthodes expérimentales employées.

COMMENTAIRES

L'intérêt de ce type d'activité réside dans la familiarisation avec la mesure ; faire une bonne mesure, se placer dans des conditions optimales, cela s'apprend, et, le moment privilégié de cette formation est la séance de travaux pratiques où précisément une mise en commun de résultats peut s'opérer.

L'expérimentation devrait donc être suivie d'une discussion commune de la classe autour des différents résultats obtenus. Le professeur écrit au tableau les résultats de chaque poste de travail pour la première expérience.

Il demande aux élèves quel a été leur choix d'angle d'incidence et commente ce choix.

Une moyenne est calculée puis on considère la dispersion des résultats. On s'accorde sur le nombre de chiffres significatifs qu'il paraît raisonnable de conserver.

On attirera l'attention sur le fait que certains élèves peuvent avoir choisi de faire se réfracter le rayon dans le sens air-plexiglas ou bien dans le sens plexiglas-air, ils peuvent être surpris d'obtenir le même résultat pour l'indice de réfraction du plexiglas.

On reprend le même type de discussion pour la seconde expérience. Il apparaît dans ce cas une difficulté de mesure de l'angle de réfraction limite, le rayon s'étalant et devenant difficile à observer.

Une comparaison des deux méthodes peut se faire à partir des critères de facilité d'exécution et de dispersion des résultats.

1.2.3. Troisième type d'activité : «Construction d'un protocole»

L'élève part à la recherche d'un modèle ou de la valeur d'un paramètre en construisant lui-même son protocole. Il a un but à atteindre formulé d'une

phrase très simple, il a droit à l'erreur, il doit pouvoir perdre du temps, il construit son raisonnement et vérifie ses hypothèses.

Aucune liste de matériel ou de savoir-faire expérimentaux n'est donnée à l'élève afin de ne pas lui induire d'idée pour concevoir son protocole.

CONTENU DE LA SÉANCE

Connaissances exigibles pour aborder ce contenu

Les lois de Descartes sont connues, le phénomène de réflexion totale également.

Savoir faire expérimentaux déjà acquis

Savoir repérer un angle d'incidence et de réfraction.

Matériel à préparer pour répondre aux éventuelles demandes des élèves :

- cuves de différentes formes pouvant contenir de l'eau : parallépipédique, hémicylindrique, boîte de Pétri,
- eau,
- papier millimétré,
- lanterne munie d'un cache permettant d'isoler un faisceau très fin,
- planche à dessin et punaises,
- rapporteur.

Travail à réaliser

Avec le matériel de votre choix et des expériences que vous décrirez très précisément déterminer l'indice de réfraction de l'eau.

COMMENTAIRES

- Dans la situation proposée, l'élève va se heurter à certaines difficultés.

La lanterne a été volontairement désolidarisée du disque gradué pour que l'élève imagine lui-même son système de repérage. Il va devoir poser une cuve de forme judicieusement choisie, remplie d'eau, sur une feuille de papier millimétré punaisée et éclairer convenablement la cuve pour constater une réfraction.

- En ce qui concerne le professeur, l'idéal serait qu'il soit présent chaque fois qu'une erreur ou une maladresse est commise pour observer la réaction de l'élève. Il est des cas où ce dernier pourra s'en sortir seul et d'autres où le professeur devra intervenir ; c'est justement cette intervention «à la carte» qui permet de ne pas noyer l'élève sous un flot de recommandations, mais plutôt de le guider quand il en a besoin.

- La démarche proposée présente plusieurs avantages.

La feuille de TP se rétrécit singulièrement dans ce type d'activité ! Est-elle encore nécessaire ? Muni de bonnes connaissances théoriques sur le sujet qu'il aborde, l'élève part à la recherche d'un modèle ou de la valeur d'un paramètre en élaborant lui-même son protocole. Si ces TP sont bien conduits, ils devraient permettre à l'élève de vivre tous les épisodes de la pratique du chercheur, à savoir :

- 1 – identification du problème,
- 2 – formulation d'hypothèses (isolation des facteurs),
- 3 – élaboration d'un protocole,
- 4 – manipulation d'un matériel adapté dans le but de valider ou d'infirmer les hypothèses,
- 5 – conclusion.

L'identification du problème doit «induire» au chercheur les hypothèses. Ce travail d'induction se fera avec d'autant plus de créativité que les éléments propices à la «découverte» seront réunis, le hasard ayant parfois son rôle à jouer !

Cette démarche est assez séduisante, mais il faut prendre garde de ne pas céder à la tentation de tout vouloir faire découvrir à l'élève par ses propres expériences. Ce dernier n'a pas une culture scientifique assez solide et risque de s'égarer totalement en ne formulant pas des hypothèses réalistes, tant il est difficile d'induire à partir de rien ! On doit veiller à structurer la pensée de nos élèves par d'autres approches que l'expérimentation.

2. QUAND FORMER ? QUAND ÉVALUER ? ÉVALUER QUOI ?

Il est bien évident que l'on ne consacrerait pas trois séances de travaux pratiques à l'étude de la réfraction en seconde. Il est clair aussi qu'on ne peut pas soumettre l'élève à des évaluations trop répétées ; le côté ludique des séances de TP doit absolument être conservé !

Réfléchissons au cadre possible pour la formation ou l'évaluation.

Les TP de type 1 ou 2 se prêtent très bien à l'apprentissage des savoir-faire expérimentaux. Si cet apprentissage a été fait, on peut alors envisager une évaluation sommative des savoir-faire expérimentaux lors d'un TP de type 2. Dans ce cas, il faudra auparavant :

- avoir listé les critères observables propres à la manipulation,
- avoir construit une grille d'observation où apparaissent ces critères.

Comment évaluer une activité expérimentale de type 3 ? Le problème est beaucoup plus épineux... Il nous semble très difficile de réaliser une évaluation sommative sur ce type d'activité et il paraît beaucoup plus sage d'entreprendre une évaluation formative. Lors d'une activité relativement simple, comme celle qui est proposée avec la réfraction, on peut espérer observer :

- l'élaboration d'un protocole,
- l'utilisation d'un matériel,
- la gestion des résultats expérimentaux.

La difficulté que nous rencontrons pour faire une évaluation sommative de ce type d'activité (s'il faut en faire une...) est de taille : en effet, pouvons-nous réellement connaître la réflexion et les pensées de nos élèves ? Un aller-retour permanent entre l'expérience et la théorie doit leur permettre d'arriver à leurs fins. Devons-nous sanctionner une démarche qui ne soit pas tout à fait linéaire ?

3. EN GUISE DE CONCLUSION

Pour terminer cette présentation typologique des TP n'oublions pas que la formation expérimentale passe par l'utilisation du matériel et, au cours de l'année, les diverses séances de travaux pratiques devront inclure des temps d'apprentissage à l'utilisation des nouveaux instruments que l'élève rencontre. Il peut être fastidieux de passer une séance de TP complète sur ce type d'activité, mais il est néanmoins inévitable d'y consacrer du temps.

Le contrat passé avec l'élève doit être clair si on souhaite le voir acquérir de véritables compétences dans le domaine expérimental.

Quels objectifs l'enseignant doit-il se fixer pour assurer une bonne formation ?

- Former les élèves à l'utilisation du matériel.

Pour bien utiliser les instruments il faut avoir appris à le faire ; dès la classe de seconde l'élève se familiarise avec le multimètre, l'oscilloscope et

le matériel simple de chimie ; on lui apprend, sur deux ou trois séances, à utiliser les instruments et on n'évalue l'élève que lorsqu'il a acquis quelques compétences ; cette évaluation, en cours de formation, peut amener à **élaborer progressivement un guide de savoir-faire expérimentaux pour et par l'élève** allant jusqu'à la classe de terminale.

- Former les élèves à la réalisation de protocoles simples : dosage, mise en forme d'une tension à l'aide d'un oscilloscope...

Ce type d'apprentissage, nécessitant l'**enchaînement d'actes unitaires** ne sera que très modestement mis en oeuvre en classe de seconde, il se développera à mesure que les connaissances de l'élève deviendront plus complexes.

- Entraîner l'élève à une réflexion autour des expériences.

L'élève ne devrait pas toujours rester un exécutant passif des ordres écrits dans la feuille de TP conçue par le professeur ; il est certainement très fructueux de passer du temps à faire réfléchir l'élève sur le choix d'un matériel ou la conduite d'un protocole et ainsi lui permettre **d'induire ses propres hypothèses** autour de situations problèmes incluant les contraintes de l'expérimentation.

Ce travail peut se concevoir sous la forme d'un devoir écrit, collectif ou non, suivi d'une mise en commun des éléments de réflexion du groupe, conduisant à la mise en oeuvre d'expériences réalisées par les élèves.

- Observer l'élève lorsqu'il tâtonne.

À l'issue du travail de réflexion décrit précédemment on peut aller encore plus loin dans l'apprentissage en amenant l'élève à réaliser un protocole, même imparfait, qu'il a choisi lui-même, afin qu'il puisse **tirer un enseignement de ses erreurs**. Pour que cet apprentissage soit efficace il importe que l'enseignant soit très vigilant sur le travail de l'élève et mène une observation non seulement des gestes accomplis mais aussi de la démarche adoptée.

- Fournir à l'élève quelques occasions de travailler seul.

Une prise de conscience de son niveau personnel est indispensable aux progrès de l'élève, et c'est au cours d'un **travail autonome** qu'il sera capable de s'apprécier à sa juste valeur.



La réalisation d'un fascicule d'images commentées : synergie entre la sécurité en laboratoire de chimie, l'informatique et le français : compte rendu d'innovation

Bernard MONTFORT, Michel REBETEZ

GRIMEP, Département Chimie, IUT,
BP 1559
25009 Besançon cedex, France.

Françoise BESSONE

Lycée Cuvier,
Les grands jardins
25200 Montbéliard, France.

Résumé

Cet article présente un exercice multidisciplinaire proposé aux étudiants de première année dans un département de chimie d'Institut Universitaire de Technologie (IUT). Il implique la sécurité en laboratoire, l'expression française et la bureautique. Les difficultés rencontrées dans sa conception, sa réalisation et son évaluation sont décrites. Sa mise en œuvre a apporté des éléments de réponse aux questions que se posaient les enseignants de ces disciplines. Cet exercice correspond aux exigences imposées par les projets tutorés en IUT.

Mots clés : chimie, sécurité, traitement de texte, expression française, évaluation.

Abstract

This paper presents a multidisciplinary exercise, proposed to first year students of the Chemistry department at the «Institut Universitaire de Technologie» (IUT). It includes laboratory safety, bureautic and french language. We describe difficulties encountered in its conception, realisation and evaluation. This experience resulted in interesting answers to questions asked by the concerned teachers. This exercise is in good agreement with the needs imposed by the «projets tutorés» in the IUT.

Key words : chemistry, safety, word processing, french language, evaluation.

Resumen

Este artículo presenta un ejercicio multidisciplinario propuesto a los estudiantes de primer año del departamento de química del Instituto Universitario de Tecnología (IUT). El implica la seguridad en el laboratorio, la expresión francesa y la aplicación de la informática al trabajo de oficina. Las dificultades encontradas dentro de su concepción, su realización y su evaluación son descritas. Esta experiencia aportó elementos de respuesta a las preguntas planteadas por los enseñantes de estas disciplinas. El ejercicio corresponde a las exigencias impuestas por los proyectos tutorizados en IUT.

Palabras claves : química, seguridad, tratamiento de texto, expresión francesa, evaluación.

À l'université, l'emploi du traitement de texte est de plus en plus diffusé. Tout projet, stage, maîtrise, DEA, DESS, doctorat s'achève par un passage obligé devant le micro-ordinateur et, encore souvent, l'auto-apprentissage est la règle. Cette publication rapporte une innovation, effectuée avec une population de 75 étudiants en premier cycle professionnalisé. Elle n'a fait l'objet que d'une communication orale aux Journées sur les Méthodes Informatiques dans l'Enseignement de la Chimie à Dijon (6-8 avril 1995).

1. QUAND L'INNOVATION DEVIENT UNE NÉCESSITÉ

1.1. Comment améliorer la motivation pour des disciplines apparemment secondaires ?

Dans un souci d'efficacité à court terme, certains étudiants ne s'investissent que dans les matières à fort coefficient. Les autres disciplines,

pas assez rentables, sont délaissées. Pour les rendre attractives, les enseignements proposés doivent susciter l'intérêt. Les activités impliquant individuellement l'apprenant et le renouvellement des démarches pédagogiques s'avèrent des facteurs de dynamisme pour l'étudiant comme pour l'enseignant. Une question se pose invariablement : que faire pour rendre plus percutant le message pédagogique ? Depuis plusieurs années, notre groupe a développé une réflexion dans ce domaine et certaines applications ont été publiées (Montfort et al., 1993, 1995, 1997). Nous décrivons ici une approche mettant en relation la sécurité en laboratoire de chimie, l'informatique et l'expression française. Examinons les spécificités de chaque domaine.

1.1.1. Sécurité en laboratoire de chimie

Dans toutes les filières d'enseignement, la sécurité et la protection de l'environnement font l'objet d'une double entrée : sous la forme de champs disciplinaires spécifiques ou par une intégration dans d'autres disciplines. À travers la chimie, les enjeux sont divers, on peut mentionner :

- la réduction des accidents ou incidents au cours des manipulations réalisées dans les laboratoires d'enseignement,

- la formation des professionnels. La composante environnementale et sécuritaire tient une place grandissante dans l'exercice des différents métiers et le choix des processus industriels,

- la formation du citoyen qui correspond à l'ensemble des connaissances indispensables à chacun pour vivre quotidiennement dans le monde actuel et essayer de le comprendre. Des rudiments sur l'inflammabilité des substances, la corrosivité ou la toxicité associés à des notions de base de securisme réduiraient considérablement la fréquence et la gravité des accidents domestiques.

Depuis plusieurs années, des efforts sont faits pour développer la sécurité et la protection de l'environnement ; néanmoins, leur impact sur les formations universitaires nous semble encore insuffisant. Par exemple, le programme pédagogique lié au diplôme universitaire de technicien chimiste inclut les enseignements relatifs à la sécurité et à l'environnement sous la rubrique formation générale et ne donne aucun impératif pédagogique. La formation correspondante est laissée à l'appréciation de chaque établissement. Dans notre pratique, nous avons toujours cherché à les privilégier et plusieurs articles de recherche ou d'innovation ont déjà été publiés sur ce sujet (Montfort, 1986, 1995 ; Montfort & Jeanjean, 1993).

1.1.2. Informatique

Malgré la présence d'une formation de plus en plus fréquente en informatique dans l'enseignement secondaire, certains étudiants manifestent toujours une hostilité à son égard et ne perçoivent pas son intérêt comme une nécessité. Dans notre département, cette discipline était introduite par l'algorithmique et la programmation. Son initiation par la bureautique serait-elle plus profitable ? Comment dépasser la dactylographie du traditionnel curriculum vitæ ou du compte rendu de TP (travaux pratiques) ?

1.1.3. Formation générale et expression française

Selon notre programme pédagogique, le but de l'enseignement en formation générale est d'améliorer la pratique de l'expression française écrite et orale tout en sensibilisant les futurs techniciens aux problèmes humains, sociologiques et économiques. Souvent, les étudiants ayant choisi une formation professionnalisante en chimie ne sont pas véritablement intéressés par l'approfondissement des techniques d'expression. L'enseignement doit alors être particulièrement varié, motivant et proposer des exercices suscitant curiosité et intérêt.

1.2. Comment introduire les projets tutorés ? Comment les évaluer ?

Le 20 avril 1994, un nouvel arrêté (BOEN,1994) organise les enseignements conduisant au DUT (Diplôme Universitaire de Technologie). Parallèlement à d'autres modifications, ce texte introduit la notion de projet tutoré. Ce terme ne se rapporte pas au tutorat tel qu'il fonctionne dans les filières universitaires classiques. Il traduit un ensemble de tâches que l'étudiant devra réaliser sous forme de travaux personnels pour développer son autonomie dans au moins deux domaines : la gestion de ses études et l'acquisition des méthodes de travail relatives à son futur métier. Les projets proposés doivent balayer l'ensemble des disciplines abordées pendant la scolarité sans exclure la prépondérance des sujets de spécialité. Les fonctions des enseignants tuteurs sont bien précisées. Ils doivent :

- définir les projets,
- apporter soutien et conseils pour leur mise en œuvre,
- organiser l'accès aux laboratoires et aux installations en dehors des heures de cours et de travaux pratiques,
- corriger le projet après son élaboration.

Les projets tutorés se présentent comme des activités évaluées mais non encadrées. Pour des raisons évidentes de sécurité, il nous est apparu comme impensable de laisser les étudiants travailler librement dans les laboratoires de chimie ; nous devons alors nous diriger vers des activités sans manipulation de produits chimiques. Lesquelles proposer ?

Une volonté de travail en commun et un contexte incitant à trouver des réponses collectives à nos interrogations nous ont amenés à proposer un exercice de type multidisciplinaire.

2. UNE RÉPONSE PONCTUELLE POSSIBLE : LA RÉALISATION D'UN FASCICULE D'IMAGES COMMENTÉES

Lors de cet exercice, l'acte d'écrire est utilisé dans toute sa dimension. Il est outil de formation personnelle à travers l'effort nécessaire pour transcrire l'observation et l'analyse de situations dangereuses présentées sous la forme de photographies. Il est surtout support de communication par la conception, la rédaction et la production d'un document final destiné à être lu.

2.1. Population d'étude, enseignement préalable et matériel

Les Instituts Universitaires de Technologie (IUT), créés à partir de 1968, s'adressent principalement à des bacheliers et forment des techniciens supérieurs dans de nombreuses disciplines. En chimie, chaque année, ce sont plus de 1200 élèves qui obtiennent le DUT dans 18 départements répartis sur toute la France. À l'issue de leurs études, 60 % des diplômés s'engagent directement dans la vie professionnelle, les autres continuent leurs études en université ou dans une école d'ingénieurs.

Cette étude, effectuée au département de chimie de l'IUT de Besançon-Vesoul, au cours de l'année scolaire 1994/95, s'adresse à l'ensemble des étudiants de première année, soit 75 élèves. Ceux-ci sont issus de plusieurs sections scientifiques ou techniques du baccalauréat.

Un enseignant de chaque discipline (trois au total) encadre la réalisation de la partie de l'exercice relative à sa spécialité et en assure l'évaluation.

La sécurité en laboratoire est présentée en début d'année au cours de deux séances de travaux dirigés (TD). L'une s'appuie sur un multimédia original de B. Martel (1979) et l'autre présente la notion d'autodiscipline de

travail en laboratoire définie par l'un de nous (Montfort, 1995). L'application est immédiate dans de nombreuses séances de travaux pratiques.

Les éléments de bureautique indispensables à la réalisation de cette tâche font l'objet d'une brève initiation au traitement de texte Microsoft Word 5.1 et d'une présentation du système d'exploitation Mac-OS (7,5 heures de TP). Cette formation fait suite à 5 heures de cours magistral et 10 heures de TP sur l'architecture PC, le DOS et la programmation.

La langue française ne fait pas l'objet d'un enseignement spécifique, sa pratique est développée en formation générale à l'occasion de dissertations, résumés, synthèses, rapports, lettres administratives et exposés.

Une salle, comportant huit micro-ordinateurs en réseau et une imprimante, est en libre accès en dehors des séances de travaux pratiques.

2.2. Conception et formulation de l'exercice

L'exercice exposé ci-dessous a été proposé aux étudiants pendant le mois de décembre 1994 en spécifiant bien qu'il s'agissait d'un travail individuel et qu'une triple notation serait effectuée. Après avoir présenté l'énoncé distribué aux étudiants, nous précisons les étapes de la création de cet exercice et les attentes des enseignants.

Exercice proposé aux étudiants

Vous devez produire un document sur la sécurité en laboratoire de chimie en utilisant exclusivement 10 clichés imposés représentant des situations de danger potentiel. Chacun d'entre eux doit être accompagné d'un texte explicatif réalisé sous Word 5.1.

Les clichés sont disponibles sous la forme de fichiers présents sur le disque dur des micro-ordinateurs de la salle de bureautique.

Ce document doit être rendu à une date précise : lundi 20 février 1995.

Sa préparation a nécessité :

1. la sélection de dix diapositives illustrant des situations dangereuses au laboratoire d'enseignement de chimie. Toutes sont extraites du multimédia de B. Martel (1979), mentionné précédemment. Nous avons retenu des clichés représentant des situations dangereuses de complexité variable mettant en jeu respectivement : un manipulateur (cinq clichés), deux manipulateurs (deux clichés) ou plusieurs manipulateurs (trois clichés). Le tableau ci-après présente les situations retenues, le nombre de manipulateurs impliqués et le danger principal évoqué ;

2. le tirage sur papier couleur des diapositives sélectionnées ;
3. la numérisation des images ainsi obtenues ;
4. la sauvegarde des fichiers correspondants dans un dossier accessible sur tous les micro-ordinateurs de la salle d'informatique.

Intitulé des clichés	Nombre de manipulateurs	Danger principal
balade	2	bris de flacons de verre
remplir	4	renversement de produits
poubelle	1	déchets non sélectifs
tige	1	coupure avec du verre
verser	1	renversement de produits
tabouret	1	renversement de produits
cheveux	2	dangers multiples
gants	1	coupure avec du verre (suite)
ballon	3	dangers multiples
sentir	2	inhalation de produits nocifs

Tableau : **Situations exposées dans les dix diapositives**

À titre d'exemple d'image commentée, nous proposons le cliché intitulé «POUBELLE» et le texte attendu.



Figure 1 : **Cliché intitulé «POUBELLE» extrait du multimédia de B. Martel (1979), diapositive n° 54**

Description :

– un manipulateur met de la verrerie cassée à la poubelle. Celle-ci contient déjà du papier.

Dangers :

– le personnel d'entretien chargé de vider quotidiennement les poubelles peut se couper en la vidant.

Précautions :

– des poubelles spécifiques bien matérialisées sont utilisées pour recueillir la verrerie cassée et les déchets en verre. Une sensibilisation du personnel technique doit être effectuée. Le port de gants est indispensable pour effectuer les transferts des poubelles issues des laboratoires vers de plus grands conteneurs. On peut rappeler à cette occasion que les poubelles des laboratoires doivent être vidées tous les jours et que des récipients spécifiques doivent être utilisés pour la plupart des rejets de produits chimiques.

2.3. Démarche supposée et notation envisagée

Une démarche souhaitable pour la réalisation de l'exercice est la suivante :

- copie des fichiers d'images sur la disquette individuelle,
- analyse des situations représentées sur ces clichés,
- rédaction correcte, pour chaque cliché, d'un commentaire soulignant les dangers présents et les conduites permettant d'éviter l'accident,
- saisie de ce commentaire en utilisant l'outil traitement de texte,
- mise en forme du texte obtenu et intégration de l'image correspondante,
- composition du fascicule incluant obligatoirement les dix images commentées.

En plus des capacités demandées par les étapes précédentes, l'apprenant doit être capable d'organiser et de planifier son travail pour rendre le document à une date déterminée.

Sur le plan de l'évaluation, la tâche demandée est nouvelle pour les enseignants. Elle n'entre pas dans leur «vécu évaluatif». Pour éviter toute malaise et toute sensation d'avoir mal effectué leur travail d'évaluateur, une procédure de notation en trois phases est envisagée :

– **notation traditionnelle** : elle prend en compte la définition des critères d'évaluation, l'établissement de barèmes sur la base d'une échelle numérique sur 7 points pour chaque discipline, la correction, la notation des documents. Celle-ci n'est pas immédiatement communiquée aux autres évaluateurs,

– **notation «au feeling»** : chaque enseignant évaluateur définit arbitrairement un intervalle de moyenne finale dite «subjective» en fonction de son impression générale sur le travail effectué collectivement,

– **comparaison** : les évaluateurs se réunissent et comparent l'intervalle de moyenne finale «subjective» proposé par chacun et la moyenne des notes «critériées» (addition des notes obtenues dans chaque discipline). En cas de grande différence, après discussion et argumentation, une retouche éventuelle des barèmes sur 7 points est envisagée.

3. RÉSULTATS

Le premier résultat constaté est l'intérêt suscité pour cet exercice. La détermination manifestée par les étudiants en témoigne, en effet 96 % d'entre eux ont rendu le document demandé dans les délais.

3.1. Travail des étudiants

Une analyse fine des informations obtenues dans chaque discipline dépasse le cadre de cette publication, aussi les résultats présentés ici restent volontairement très généraux. Ils proviennent d'observations directes du comportement des apprenants et de conclusions issues de l'évaluation des documents rendus. Pour plus de détails le lecteur pourra se reporter au rapport complet dont nous disposons sur ce travail.

3.1.1. Sécurité

Les situations dangereuses, présentées sous forme de 10 clichés, avaient toutes été explicitées en travaux dirigés en début d'année. Elles ne présentent pas un caractère de nouveauté et aucun travail complémentaire n'est demandé dans ce domaine. Leur observation met en évidence un total de 32 comportements dangereux. Les plus caractéristiques d'entre eux sont mentionnés dans les documents rendus. Le nombre de conduites dangereuses citées varie de 13 à 29 avec une moyenne de 21,5 soit 66 %.

Par contre, peu d'étudiants essayent de classer ou de regrouper les situations présentées. Certains clichés avaient été choisis dans ce seul but,

par exemple, «tige» et «gants» représentent la même opération, avec et sans danger pour le manipulateur.

Nous attendions une démarche plus rigoureuse dans l'analyse des situations étudiées. Celle-ci avait cependant été employée pendant la séance préparatoire en travaux dirigés. Chaque cliché était décrit en utilisant une séquence en trois phases : observation de la situation, description du danger présent, et proposition de conduites d'évitement.

3.1.2. Informatique

Sur le plan strictement matériel, la salle d'informatique a été très sollicitée et parfois avec une suroccupation. Seuls quelques incidents matériels mineurs ont été constatés, et plus de 3000 impressions ont été comptabilisées par l'imprimante ; ce nombre n'est pas démesuré si l'on prend en compte le fait que les 74 documents rendus comprennent de 20 à 30 pages chacun.

L'emploi du traitement de texte a suscité beaucoup d'intérêt. La curiosité et le désir d'approfondir les potentialités du logiciel ont souvent été limités par les horaires de fermeture de la salle. La correction des fascicules a montré une bonne assimilation des fonctions simples telles que «copier/coller» ou l'insertion d'images. Par contre, certaines possibilités n'ont pas été utilisées telles que : l'encadrement, les caractères et fonds spéciaux, la modification de la dimension des images. L'emploi du vérificateur orthographique ou grammatical n'a pas été systématique et bien des erreurs auraient pu être évitées. Cette observation souligne les lacunes mentionnées par J. Anis (1993) dans la formation au traitement de texte par auto-apprentissage.

La présence de «copiage» est mise en évidence par les nombreuses analogies typographiques ou syntaxiques que présentent certains documents. Ce sont souvent des erreurs répétées qui attirent notre attention de vérificateur. Le copiage atteste que la fonction «copier/coller» est peut-être trop bien intériorisée. Après enquête et discussion avec les étudiants concernés, il s'avère que les démarches de copiage sont faites parfois avec l'assentiment du scripteur initial ou sans que celui-ci s'en doute, par la récupération discrète d'un fichier laissé temporairement sur le disque dur. Des pénalités dans la notation ont été appliquées.

3.1.3. Expression française

Notre évaluation de l'écrit s'appuie sur les critères proposés pour la formation élémentaire sur le plan de l'expression française. Néanmoins, la singularité du travail demandé, réalisation d'un document limité

exclusivement à un ensemble de clichés accompagnés d'un texte explicatif, nous a conduits à limiter le nombre de critères. Dans le souci de permettre à nos étudiants une bonne lisibilité de notre évaluation, nous avons retenu les éléments suivants :

- plan et structure du document,
- application (relation du texte à l'image),
- enchaînement des idées,
- construction,
- cohérence,
- vocabulaire,
- ponctuation.

La moyenne initiale obtenue est de 10,5/20. Celle-ci a été légèrement augmentée en aménageant le barème affecté à «plan et structure du document», notion importante sur laquelle nous n'avons pas, à notre avis, suffisamment insisté lors de l'enseignement.

3.2. Évaluation et notation

La correction de l'ensemble des documents a demandé de douze à seize heures de travail à chaque enseignant. Vingt heures de mise en commun ou de travail complémentaire ont été nécessaires pour assurer le traitement des données obtenues. Conformément à la démarche définie dans la phase préparatoire, la notation finale s'est déroulée selon les trois phases prévues initialement :

– la mise en commun des intervalles de moyennes subjectives, estimées par chaque enseignant sur 20 points, donne les résultats respectifs suivants : (11,5 - 12), (12 - 13) et (11 - 13). Ils témoignent de leur réelle satisfaction vis à vis de la tâche réalisée,

– la moyenne des notes individuelles obtenues par addition de celles portées sur 7 points pour chaque discipline est : 10/20,

– cette valeur nous a semblé trop basse et, d'un commun accord, nous avons décidé de modifier nos barèmes. Trois méthodes différentes ont été appliquées et conduisent à une moyenne générale de 12,5/20, valeur qui ne nous a pas semblé excessive au vu du travail fourni par les apprenants.

4. DISCUSSION

Cet exercice multidisciplinaire a engendré de nouvelles voies d'enseignement dont l'exploration passe par des modifications ou améliorations dans chaque domaine. Nous n'en présentons ici que les éléments principaux.

Depuis plusieurs années que nous exploitons ce multimédia en travaux dirigés, nous n'avons jamais formalisé l'analyse des situations dangereuses avec la rigueur et la complétude demandées par la préparation de cet exercice. Ces exigences nous ont entraînés vers une vision très différente des clichés présentés en soulignant l'importance des interactions entre manipulateurs et en montrant le rôle irremplaçable de la communication au sein des laboratoires.

Cet exercice situe la démarche de réflexion demandée à l'apprenant dans un autre contexte que celui de la transmission habituelle des consignes de sécurité. En agissant comme observateur extérieur d'une situation dangereuse, il la perçoit dans toute sa complexité. La formalisation de l'analyse effectuée sous forme d'un document imprimé renforce beaucoup, à notre avis, la démarche d'apprentissage. Elle lui donne une dimension nouvelle pour ce domaine, mais nous ne l'avons pas évaluée.

Pour des chimistes, l'emploi de l'outil informatique doit répondre à un besoin et ici, nous avons créé le besoin. Dans notre cas, l'outil est utilisé immédiatement après sa présentation dans un contexte de micro édition à forte implication individuelle. Nous retrouvons des conditions idéales d'enseignement. C'est, à notre avis, une des raisons qui expliquent l'absence de réactions de rejet. La motivation presque unanime des étudiants pour ce mode d'activité nous conduit à envisager un enseignement de l'informatique qui commencerait exclusivement par la bureautique.

Le passage obligé par l'écriture pour transmettre un message sur la sécurité en laboratoire de chimie fait jouer pleinement son rôle à la langue française. Elle devient un outil pour préciser avec justesse la description du comportement d'un manipulateur ou d'une situation de travail. Cette discipline trouve alors sa place normale dans la formation complète et cohérente de l'apprenant.

Cet exercice s'inscrit bien dans l'ensemble des possibilités apportées par les projets tutorés aux étudiants de notre département. Nous en avons vérifié la faisabilité, déterminé le coût et les limites. Nous montrons que le travail imposé aux enseignants ne doit pas être sous-estimé, surtout si une démarche sérieuse d'évaluation et de notation est demandée. Le copiage que nous avons observé et dont nous voulons témoigner est un élément à ne pas négliger dans toute activité non encadrée mais évaluée.

CONCLUSION

Pour les enseignants comme pour les étudiants, la réalisation de cet exercice a été une expérience très motivante dont le résultat réel et les implications sont difficiles à évaluer. Parmi ses conséquences sur nos pratiques pédagogiques, deux d'entre elles méritent particulièrement d'être soulignées.

Notre enseignement d'initiation à l'informatique a été complètement réorganisé, il est introduit systématiquement par la bureautique et ce n'est qu'après une familiarisation avec le traitement de texte et le tableur que la programmation classique retrouve ses droits sans induire chez l'utilisateur un éventuel blocage devant l'ordinateur.

Dans l'enseignement de la sécurité en laboratoire nous privilégions l'emploi du diaporama comme élément moteur en travaux dirigés. L'inévitable «arrêt sur image», imposé par chaque photographie, est mis à profit pour une analyse collective plus approfondie des clichés proposés, allant bien au-delà de la présentation des principales sources de danger, comme nous le faisons auparavant.

Cette expérience a résulté d'une volonté de travail en commun dans des directions que nous n'avions pas encore explorées. Les améliorations projetées restent nombreuses. La dynamique créée a été interrompue brusquement par l'augmentation inattendue de 30 % de l'effectif de la première année. Au supplément inévitable de travail, s'est ajoutée une réorganisation importante de notre structure d'enseignement avec l'impossibilité d'utiliser la salle d'informatique dans des périodes de libre accès suffisamment longues. Nous avons projeté une intégration de cet exercice dans nos travaux pratiques d'informatique avec des objectifs nécessairement limités par l'absence d'autonomie et la faible relation avec les autres disciplines.

BIBLIOGRAPHIE

- ANIS J. (1993). Des scripteurs professionnels face au traitement de texte. *Cahiers pédagogiques*, n° 311, p. 40.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1994). Arrêté du 20 avril 1994, Journal Officiel du 14 mai 1994. *Numéro 22 du 22/6/94*. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale, pp. 1599-1606.
- MARTEL B. (1979). Multimédia «Sécurité dans les laboratoires». Université de Poitiers, CUDNME (Centre Universitaire de Diffusion des Nouveaux Média d'Enseignement).
- MONTFORT B. (1986). L'enseignement de la sécurité au cours des travaux pratiques de chimie. *L'actualité chimique*, n° 8, pp. 37-42.

- MONTFORT B. (1995). Premières étapes vers l'acquisition d'une autodiscipline de travail en laboratoire. In *Actes des 12èmes Journées Internationales sur le Recherche et l'Enseignement en Chimie*. Université Louis Pasteur/Société Française de Chimie, Strasbourg, pp. 55-59.
- MONTFORT B. & JEANJEAN B. (1993). Sécurité et laboratoires d'enseignement. *L'actualité chimique*, n° 5, pp. 11-21.
- MONTFORT B., CARRETTO J., REINALDI A. & CHASTRETTE M. (1993). Processus simultané d'évaluation et d'autoévaluation dans le laboratoire de chimie. *Mesure et évaluation en éducation*, vol. 15, n° 4, pp. 5-29.
- MONTFORT B., REBETEZ M. & TOUYERAS F. (1995). L'enseignement : un problème de communication. Emploi d'une grille d'observation pour mesurer l'efficacité de différents outils du discours pédagogique en travaux pratiques de chimie. In *Communication et circulation des informations, des idées et des personnes, Actes du 2ème Colloque Transfrontalier Communication*. Université de Lausanne, pp. 417-425.
- MONTFORT B., REBETEZ M., TOUYERAS F. & GEORGE B. (1997). L'olfaction, outil inhabituel pour évaluer l'activité de l'étudiant dans une manipulation de travaux pratiques en chimie. In *Actes du 3ème colloque transfrontalier «Le Goût»*. Université de Dijon (à paraître).

Actes des septièmes entretiens de La Villette : La mesure (1996). Paris, CSI-CNDP, 384 p.

Cet ouvrage rassemble les différentes contributions (conférences, ateliers, table ronde) qui ont constitué l'essentiel des septièmes entretiens de La Villette consacrés en 1996 au vaste thème de la mesure. Après les quelques pages du discours d'introduction de monsieur Gérard Théry, président de la Cité des Sciences et de l'Industrie, les actes sont structurés suivant l'organisation des journées.

Première journée : les enjeux de la mesure.

Les textes de quatre conférences sur, notamment, «repères, problématiques et enjeux» et «les enjeux industriels» (textes accompagnés des principales questions posées à l'issue de la communication) sont suivis par les contributions aux ateliers sur «les normes et les mesures pour une qualité totale» et «l'homme dans son environnement mesuré».

Deuxième journée : la mesure en pratiques.

Cette partie est la plus importante de l'ouvrage : sept conférences permettent d'aborder des sujets tels que «unités et incertitude», «normes au service de la qualité et la sécurité», «contrôle et réglementation», ainsi que les questions de la mesure en astronomie ou à la frontière de la mécanique quantique ou encore, celles de l'impact environnemental ou de la mesure dans le système éducatif. Les ateliers qui sont ensuite présentés sont centrés sur les thèmes «mesure de grandeurs physiques», «mesure de l'extrême», «validation des méthodes de mesure», «mesure en comptabilité».

Troisième journée : les limites de la mesure. Les textes des cinq conférences sur les limites de la mesure dans le domaine des

assurances, du temps, du chômage, etc., sont suivis des contributions aux ateliers portant sur «la mesure de nos perceptions» et «l'art de la mesure» et, enfin, par la table ronde sur «l'éducation à la mesure».

Après le discours de clôture de Pierre Léna, l'ouvrage offre une rapide présentation des démonstrations (où chaque texte est judicieusement accompagné des informations utiles à un ou plusieurs contacts possibles) et s'achève sur quelques pages de bibliographie.

Cet ouvrage rassemble donc des contributions relevant de domaines très différents (depuis la physique quantique jusqu'à la mesure subjective de la qualité, en passant par les problèmes d'environnement et ce, avec des problématiques tout aussi variées : recherche de réponses à des questions de physique ou de biologie fondamentale, réglementation et normalisation, évaluation, etc. Cette hétérogénéité des contenus (renforcée par une hétérogénéité des volumes des textes allant d'une demi-page à plus de dix pages) est l'une des caractéristiques de l'ouvrage.

Celle-ci est en effet à l'image de la complexité et de l'étendue de la question et, à ce titre, l'ouvrage constitue un repère en matière de pratiques sociales de référence. De plus, les questions de définition du mesurande, de contrôle du mesurage, sur la nécessité et la difficulté d'établir des étalons... sont ainsi présentées en articulation entre des domaines qui s'ignorent généralement, soit qu'ils relèvent de problématiques étrangères (étude de phénomènes physiques extrêmes, mesures en biologie médicale et réglementation au service de la sécurité, par exemple), soit qu'ils relèvent d'applications «exotiques» de telle ou telle loi ou technique (telle l'utilisation de la résonance magnétique nucléaire pour la détection de la fraude dans la fabrication des jus de fruits).

La confrontation des points de vue et des approches, objectif général de ces entretiens,

est donc un apport majeur. Suivant les propos de Pierre Léna, la mesure y apparaît ainsi en transversalité et, donc, comme un élément de sens profond et d'unité. Et parce qu'un monde sans mesure serait un monde flou et déformable, donc invivable, l'éducation à la mesure ou, plus précisément, la prise en charge par l'éducation de l'information sur l'importance de la mesure, dépasse largement le strict cadre des sciences exactes et doit être compris comme une contribution essentielle à une formation du citoyen, aujourd'hui confronté à une masse grandissante de courbes, chiffres, moyennes et échantillons dits représentatifs (sans que les informations nécessaires à leur validité scientifique et à l'exercice du sens critique ne soient généralement fournies). L'importance de ce thème devrait sensibiliser les enseignants et formateurs qui trouveront dans la diversité des sujets abordés une abondante matière à réflexion pédagogique.

D. Beaufiles

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.

On ne peut que se féliciter de la réalisation d'un travail de recherche en didactique de l'enseignement technique de ce niveau. Il faut en être reconnaissant au jeune Laboratoire d'Étude des Méthodes Modernes d'Enseignement de l'Université Paul Sabatier à Toulouse dont le directeur, le Professeur R. Lefèvre, est aussi le responsable de ce travail.

Celui qui entreprend là l'étude de l'ouvrage reçoit un premier choc : un volume de 280 pages accompagné de cinq volumineux fascicules d'annexes lui signale l'importance du travail. Heureusement, sa lecture en est agréable et laisse une impression de rigueur et d'exhaustivité qui traduit une longue expérience professionnelle de formateur et un engagement inconditionnel en didactique de l'auteur, ce dont on sait qu'ils sont rarement conciliables.

La thèse comporte quatre parties. Les deux premières tracent le cadre théorique de la recherche. Les deux dernières prennent appui sur des études de cas et des observations de séquences de classe. Dans sa présentation générale, Bernard Calmettes introduit le contexte dans lequel il désire réaliser sa recherche qu'il qualifie de descriptive. Il s'agit des curriculums de l'enseignement technique et de la réponse institutionnelle du système éducatif aux changements du monde socio-technique dans le cas particulier du secteur industriel concerné : l'électrotechnique. Il précise que cette interaction présente une grande complexité et choisit les curriculums comme objet sensible et significatif des manifestations, dans les systèmes de formation, des modifications provoquées par l'évolution technologique. Un recensement des résultats des travaux en didactique dans le domaine des curriculums et la place de la théorie de la transposition et des pratiques de référence introduit l'hypothèse sur laquelle la recherche est entreprise. Plus précisément, ce sera l'écart entre les curriculums prescrits et les curriculums pratiqués qui servira de révélateur à l'interaction étudiée.

Dans une première partie, la notion de pratique sociale de référence introduit une analyse des caractéristiques technico-économiques de l'électrotechnique. Le tableau de l'évolution des activités concernées, recherches, pratiques et projets industriels, y compris les méthodes et modèles pour la construction des machines de 1900 jusqu'à nos jours est brossé à larges traits mais de façon complète. Suit une description très précise et détaillée de l'évolution des modalités de l'enseignement technique et professionnel à tous les niveaux de scolarité en insistant spécialement sur l'électrotechnique. Cela permet d'illustrer les choix politiques faits pour la formation et son évaluation. La dialectique qualification-compétence est analysée dans le cadre des référentiels produits par les acteurs institutionnels (entre autres, la Commission Professionnelle Consultative). Les notions de «technicien d'école» *versus* «technicien d'entreprise» illustrent les pratiques de référence pour les référentiels successifs d'enseignement et résument les aspects de cette dialectique.

Dans une seconde partie, B. Calmettes produit une étude générale et très approfondie des curriculums ayant conduit à ceux qui sont actuellement en vigueur dans les terminales «génie électrotechnique». L'organisation des groupements disciplinaires, les horaires relatifs, les finalités explicites sont soigneusement décrits. Une première analyse du cadre dans lequel ces connaissances sont validées expérimentalement, pratiquement (évolution des matériels) ou théoriquement permet de comparer la place et la fonction des enseignements de STI (Sciences et Techniques Industrielles) et de PA (Physique Appliquée) dans la formation. L'évolution du recrutement et des formations d'enseignants est présentée. Cette étude générale est développée à partir de deux éléments exemplaires de la formation, d'une part les formes que prennent l'étude du moteur asynchrone et ses affectations disciplinaires, d'autre part deux sujets du type baccalauréat à deux étapes clés des réformes de l'enseignement. Une corroboration de cette description est entreprise grâce à l'analyse lexicale automatique (logiciel ALCESTE) des textes des programmes de 1992. La masse d'informations recueillies est impressionnante. Son traitement a été bien maîtrisé malgré une certaine faiblesse de l'analyse *a priori*. Cela explique que l'auteur se soit assuré d'une cohérence *a posteriori* de ses conclusions par l'utilisation de l'outil informatique. La maîtrise méthodologique en ce domaine et le succès de l'entreprise sont remarquables.

On peut toutefois regretter que certains éléments supplémentaires obtenus à l'occasion de cette corroboration statistique, en particulier la place des mots «modèle» et «modélisation» particulièrement prégnants dans ce domaine, ou la situation statistique de verbes comme «définir», «déterminer», aient été négligés.

Dans les troisième et quatrième parties, la mise en œuvre et l'illustration des catégories déterminées précédemment sont réalisées dans deux études de cas et deux situations particulières d'enseignement. Il s'agit, en STI, de l'enseignement de la SADT (analyse systémique descendante) et d'une séance d'étude pratique, en PA, de l'utilisation du banc d'essais et de mesure en cours et d'une séance de travaux pratiques sur le moteur

asynchrone. Ces situations sont l'objet d'une analyse dans le cadre théorique des pratiques sociales de référence. L'objectif est de préciser les éléments de l'écart observé entre curriculum prescrit et curriculum réel dans l'enseignement actuel. Ces deux études fournissent des résultats intéressants en particulier, pour les dispositifs d'enseignement, sur le rôle des partenaires industriels dans la reconnaissance et le soutien ou le rejet de telles ou telles situations. En ce qui concerne les situations de travaux pratiques, l'écart provoqué par l'enseignant (en PA) ou la pression institutionnelle de l'évaluation (en STI) entre le curriculum prescrit et la réalisation effective a été remarquablement mis en évidence et analysé.

La conclusion générale reprend essentiellement ces résultats et propose des pistes intéressantes de recherche, en particulier en ce qui concerne le rôle des enseignants dans la mise en œuvre explicite des référentiels. Elle manifeste aussi certaines faiblesses du travail entrepris dans la mesure où apparaissent, souvent pour la première fois dans la conclusion, les analyses épistémologiques nécessaires aux clarifications des concepts utilisés dans la thèse (par exemple, les termes de modèle, de simulation, de connaissance reçoivent, tout au long de la thèse, plusieurs acceptions ce qui handicape l'auteur dans l'établissement rigoureux de sa conclusion).

On peut regretter que B. Calmettes n'ait pas cerné plus précisément l'objet de sa recherche. L'hypothèse relative à l'origine interne et externe au système éducatif strict des modifications du curriculum nous semble trop générale pour pouvoir être problématisée dans le contexte de la didactique. Il était alors inévitable que la recherche prenne un aspect descriptif (que l'auteur revendique mais que l'on peut regretter) et que la plupart des critères d'analyse aient été pris dans des cadres théoriques hétérogènes (sociologie industrielle, histoire et sociologie de l'éducation, analyse pédagogique des contenus).

On peut remarquer que l'étude socio-économique qui illustre les interactions de la profession et du système éducatif à partir de la formation des techniciens supérieurs illustre bien la mise en œuvre des pratiques sociales de référence comme outils d'analyse.

Par contre l'étude des curriculums, elle, a porté sur les enseignements de terminales des lycées technologiques, ce qui estompe les interactions précédentes au profit des interactions manifestées à l'intérieur du système éducatif et en particulier celles de l'opposition PA, STI. La question de la relation éventuelle entre les références de technicien d'école et technicien industriel et les contenus d'enseignement nous paraît alors très différente de la précédente et difficilement abordable dans un même cadre problématique de recherche.

Ces quelques critiques ne doivent pas occulter la qualité et l'importance du travail réalisé. Le domaine des curriculums d'enseignement technique abordé est nouveau. Cette recherche supporte donc les difficultés et les obstacles que rencontrent tous ceux qui défrichent de nouveaux domaines qu'aborde la didactique de la technologie. Une mention toute particulière doit être faite à propos des annexes à la thèse. Certaines représentent, à elles seules, une richesse inestimable pour les futurs chercheurs. En particulier, le volume contenant le recensement de TOUS les textes institutionnels de références concernant l'enseignement de l'électrotechnique depuis sa création devrait figurer dans tous les centres de formation des maîtres et dans tous les laboratoires de didactique de la technologie. Seul un praticien enseignant spécialiste dans le domaine (ce qu'est M. B. Calmettes qui est formateur à l'IUFM) et engagé dans une action de recherche en didactique de la technologie pouvait constituer ces ressources. D'autre part les observations aussi diverses que judicieuses des situations de classe qui ont fourni le support à cette recherche sont, à notre avis, loin d'avoir révélé toutes leurs richesses et inspireront, nous l'espérons, de nombreux formateurs et chercheurs.

J. Gréa

ARTIGUE M., GRAS R., LABORDE C., & TAVIGNOT P. (Éds) (1996). *Vingt Ans de Didactique des Mathématiques en France – Hommage à Guy Brousseau et Gérard Vergnaud*. Grenoble, La Pensée Sauvage, 415 p.

Comment présenter un ouvrage de plus de 400 pages, contenant 36 conférences et communications d'un colloque qui a regroupé plus de 200 chercheurs, formateurs et enseignants français et étrangers à Paris du 15 au 17 juin 1993 ? Il faut parler des huit conférences plénières dont trois présentent une vue «extérieure» (italienne, américaine et allemande) de la didactique des mathématiques francophone. Trois conférences plénières décrivent de grands thèmes de ladite didactique (l'histoire de la didactique des mathématiques, les rapports de la didactique des mathématiques avec la psychologie cognitive et une sur la théorie des situations didactiques). Les conférences de Guy Brousseau sur les «Perspectives de la didactique des mathématiques» et celle de Gérard Vergnaud sur «Le rôle de l'enseignant à la lumière des concepts de schème et de champ conceptuel» ont ouvert quelques champs de recherches futures à cette jeune discipline. Dans le livre, les communications sont regroupées sous les titres «approches cognitives : schèmes, champs conceptuels» (8 communications), «théorie des situations didactiques» (4), «l'enseignant dans le système didactique» (2), «approche anthropologique» (3), «aspects épistémologiques et contenus mathématiques» (4), «environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur» (4) et «aspects méthodologiques de la recherche» (3).

Comment émettre un jugement sur un ouvrage si diversifié, sur un livre qui couvre un si vaste paysage scientifique qu'un lecteur particulier, aussi expert soit-il, ne peut pas l'être partout ? On peut dire que la recherche sur les schèmes et champs conceptuels est un des points forts de la didactique des mathématiques francophone et que cette recherche est bien décrite dans le livre. On peut dire que la théorie des situations didactiques a même donné lieu à une coopération internationale (cf. la communication de Margolinas & Steinbring). Pour les technologies nouvelles, il est intéressant de voir que les EIAO semblent être les plus développés pour la géométrie (cf. les communications de Bazin et Laborde), mais qu'ils donnent aussi naissance à un concept nouveau : la «transposition informatique» (voir la communication de Balacheff). Pour moi, le

développement le plus frappant, c'est la découverte récente de «l'enseignant dans le système didactique». Dans les deux communications (de Portugais & Brun et de Rauscher) et dans la conférence plénière de Gérard Vergnaud, on peut voir l'ouverture de la didactique des mathématiques francophone vers le troisième élément du système didactique (dans le sens restreint) d'Yves Chevallard. Après avoir examiné le savoir et sa relation avec l'élève (cf. les analyses historiques, anthropologiques et épistémologiques), après avoir pris en compte le milieu, «on» élargit l'horizon au second agent de l'enseignement : l'enseignant. Avec la création des IUFM et la professionnalisation de la formation des enseignants, cette évolution est essentielle et nécessaire.

Qui «doit» lire cet ouvrage ? Les «remerciements» du livre finissent avec l'espoir que «cet ouvrage... sera un instrument de travail pour de nombreux chercheurs et fera connaître les recherches françaises». C'est exactement ce qu'on peut souhaiter pour cet ouvrage riche : si on ne veut pas suivre de façon continue le développement de la recherche en didactique des mathématiques francophone (par exemple par la lecture de la revue *Recherches en didactique des mathématiques*), le livre peut servir de référence, ponctuelle mais pertinente, pour cette jeune discipline. Pour les chercheurs des disciplines et pays voisins, les formateurs et les enseignants, l'ouvrage offre une information étendue et détaillée de ce que peut fournir la didactique des mathématiques francophone.

R. Straesser

BELHOSTE B., GISPERT H. & HULIN N. (sous la direction de) (1996). *Les sciences au lycée. Un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger*. Paris, Vuibert-INRP, 330 p.

Cet ouvrage, qui est très agréable à lire, est en quelque sorte, tout en se défendant d'en être les Actes, le prolongement d'un colloque organisé en janvier 1994 et intitulé : «Réformer l'enseignement scientifique : histoire et

problèmes actuels». Il est constitué de 25 contributions regroupées en trois parties : 1) Enjeux et contextes des réformes ; 2) Les réformes en France : principes et réalités ; 3) Regards sur l'enseignement scientifique hors de France.

Tout d'abord pourquoi une réforme ? Il ressort, en simplifiant à l'extrême, qu'en 1902 il s'agissait de définir une culture de référence (les «humanités scientifiques») pour les classes dirigeantes, alors qu'autour des années 1970, il s'agissait de tenir compte des évolutions radicales de la science contemporaine et de réduire le décalage qui existe alors avec la science enseignée. Et un certain nombre de contributions insistent sur les contextes scientifiques justifiant les réformes, alors que d'autres insistent sur l'environnement structuraliste ou positiviste ou piagétien dans lequel les réformes vont voir le jour. Mais comment réformer ? Il ne suffit pas qu'un Décideur décrète : «Y-a-ka», encore faut-il prendre en compte les aspects scientifique, pédagogique, idéologique, politique, économique, culturel, institutionnel... de la réforme à faire. Et lorsqu'il semble que la majorité des acteurs soit d'accord pour réformer en mettant le plus souvent en avant l'utilité sociale de la réforme à entreprendre (par exemple, dans le cas des mathématiques modernes, les mathématiques doivent être considérées comme un instrument essentiel de la compréhension et de la maîtrise du monde, même si en réalité c'est l'impérialisme d'une poignée de mathématiciens qui cherche à imposer ses représentations mentales à tout un peuple), ce sont finalement les acteurs muets, les élèves qui décident en dernier ressort et peuvent en quelque sorte imposer une contre-réforme. On peut alors s'en tirer en présentant la réforme des maths modernes comme un épiphénomène, ou dire que ce n'était pas cela qui était voulu lorsqu'il apparaît que la réforme a des effets opposés à ceux prévus, notamment dans l'utilisation concrète des nouveaux savoirs enseignés.

Dans la deuxième partie, les notions proposées de permanence et de décalage rendent parfaitement compte d'un siècle de réformes. Ces notions peuvent-elles conduire à une abnégation pessimiste ? Peut-être pas si tout enseignant de mathématiques ou de

physique lit cet ouvrage, car il y puisera des arguments constructifs – pour ou contre, peu importe – la prochaine réforme des programmes, et c'est là un des mérites de l'existence d'un tel livre, que de constituer une mémoire.

Enfin la dernière partie présente d'une part les réformes dans l'enseignement des mathématiques menées en Allemagne, aux États-Unis, en Italie, en Union Soviétique et en Belgique, et d'autre part celles préconisées dans l'enseignement de la physique il y a une quarantaine d'années en Angleterre aux États-Unis et en Allemagne. Si l'on aperçoit à travers ce panorama quelques problématiques communes, il semble illusoire, par suite des fortes particularités nationales, d'envisager de transposer une réforme d'un pays à un autre, d'autant plus que dans l'ensemble ces articles dressent plutôt un constat désabusé quant aux résultats de chacune d'entre elles.

En conclusion, c'est un ouvrage que l'on ne peut que conseiller de lire à tout formateur qui s'interroge sur ce qu'il enseigne, même si la réponse qu'il y trouvera ne sera que partielle. De plus il donne envie d'approfondir certains points, notamment les rapports ambigus de force et/ou de complémentarité qu'entretenaient tout au long de ce siècle les mathématiques par rapport à la physique et la physique par rapport à la technologie.

J.-M. Dusseau

LE MOIGNE H. (1995). *Erreurs, décalages et ajustements dans le processus enseignement / apprentissage, lors de cours de Biologie, en classes de sixième et de cinquième. Thèse de doctorat, Université de Nantes.*

La thèse d'Huguette Le Moigne est fondée sur la description et l'analyse d'un impressionnant corpus de séances d'enseignement de la biologie, conduites en classes de sixième et cinquième de collège, dans le but d'y étudier, de la façon la plus fine possible, le détail des interactions didactiques et, à travers elles, ce qui se joue dans ces classes du point de vue de l'appropriation des savoirs. L'auteur a combiné les enregistrements audio avec

l'usage du caméscope, le tout contrôlé par une prise de notes en direct et complété par des questionnaires et entretiens. C'est donc un travail d'une extrême minutie, dont l'auteur décrit fort bien les difficultés méthodologiques rencontrées.

Avant d'en venir à l'analyse de son corpus, Huguette Le Moigne le met en perspective dans un cadre théorique ambitieux, qui montre sa familiarité avec les développements actuels des sciences de l'éducation, et particulièrement avec les concepts didactiques et pédagogiques, tout comme avec les données de psychologie cognitive et les modèles de formation. Le traitement statistique des données permet ensuite d'obtenir des résultats validés sur des aspects essentiels de la communication pédagogique, particulièrement sur les modes de communication dans la classe, la nature des actes pédagogiques et celle de l'activité des élèves, les opérations cognitives que l'enseignant souhaite activer et celles mises en œuvre par les élèves, le traitement des erreurs, le repérage des décalages et la nature des ajustements. Il en résulte la rédaction de «tableaux d'analyse» extrêmement précis et la possibilité pour l'auteur d'effectuer toutes sortes de corrélations. Les résultats obtenus montrent que si les actes pédagogiques des professeurs de biologie apparaissent relativement diversifiés, on note une nette prédominance de ceux qui se fondent sur l'information et la transmission, et parmi ceux-ci une prédominance des actes qui fonctionnent sur un mode impositif (par rapport à un mode dynamisant). De même, les enseignants activent volontiers la sphère réceptivo-informative, c'est-à-dire les opérations de saisie d'information, avec les opérations correspondantes de mémorisation et d'attention. À l'inverse, ils ne stimulent jamais, au moins explicitement, les opérations méta-cognitives.

Ce qui se joue sur le versant professeur se retrouve sur le versant élèves. Certes, ceux-ci effectuent bien pour leur part des activités dont la diversité peut être notée, mais ce qui domine ce sont quand même les vérifications routinières et les efforts d'adaptation tacite au fonctionnement et à la progression du cours. Leur activité paraît relever davantage de la saisie et de la transformation de l'information

que d'un véritable traitement. Il en va de même du travail de l'erreur dont les enseignants privilégient le « retraitement », avec pour conséquence didactique l'apparition de phénomènes répétitifs qui entraînent la lassitude et agissent négativement sur la motivation dans la classe.

On peut se demander si les grandes et indéniables qualités de cette thèse ne rencontrent pas leur limite, par le parti pris de privilégier à l'excès les analyses quantitatives sur les interprétations plus « herméneutiques », alors que le matériau extrêmement riche s'y serait prêté. On ne peut s'empêcher de penser à l'usage différentiel qu'auraient produit d'autres approches, didactiques ou psychosociologiques, avec un matériau aussi riche. Mais on ne saurait reprocher à Huguette Le Moigne de s'être inscrite dans le cadre des recherches développées dans le laboratoire de Marguerite Altet, son directeur de thèse, car on obtient ainsi confirmation expérimentale de résultats qui, même si on les présentait, sont toujours davantage sujets à caution quand ils sont obtenus par des voies plus qualitatives. Les enseignants de biologie et les responsables de cette discipline la présentent en effet souvent comme à l'avant-garde de la rénovation et de la centration sur l'élève (esprit scientifique oblige), sans bien être conscients d'importants décalages qui s'opèrent à leur insu. Christian Orange avait ainsi pu, dans sa propre thèse, soutenue l'année précédente à l'Université Paris 7, parler d'une discipline dans laquelle les savoirs ne sont opératoires que de façon « extrinsèque ». Mieux vaut donc finalement encourager la diversité et le recoupement des paradigmes de recherche, et estimer que cette thèse systématique et rigoureuse fournira désormais une référence.

J.-P. Astolfi

TOUSSAINT J. (1996). *Didactique appliquée de la physique-chimie*. Paris, Nathan, 316 p.

«L'une des premières tâches du chercheur est de vulgariser, au sens de rendre accessible à un public non expert, les résultats de ses travaux... Mais ce discours n'est pas celui d'un chercheur s'adressant à ses pairs :

le langage utilisé a toujours été rendu le plus simple et accessible possible, tout en restant dans le cadre de la rigueur scientifique que le sujet impose. Cet ouvrage est donc clairement destiné à des enseignants en formation, qu'elle soit initiale (futurs et jeunes) ou continue (... moins jeunes)». Les auteurs de l'ouvrage se positionnent donc sur le terrain de la tentative de vulgariser la didactique, d'entreprendre un travail de transposition, de mise en texte accessible au non initié. Saluons d'abord cette initiative : actuellement, lorsqu'un stagiaire d'IUFM ou un enseignant en exercice réclame un ouvrage général de premier abord de la didactique des sciences, il est difficile de faire une proposition. Si de nombreux titres existent sur des aspects particuliers, l'on ne trouve pas d'ouvrages généraux facilement accessibles. Mais un tel exercice est périlleux : simplifier, vulgariser, c'est aussi risquer d'être schématique, réducteur, voire parfois... dogmatique. Ce n'est pas ici que nous insisterons plus sur l'appât inévitable du savoir lorsqu'il est transposé. Dans le cadre d'une discipline jeune comme la didactique, où les points de vue sont encore divers et les regards souvent sourcilleux, saluons le courage des auteurs qui s'exposent à la critique, voire la polémique !

Le premier chapitre, «Les diverses facettes de l'apprentissage», est une bonne illustration de ce qui vient d'être dit. Opposer en quelques pages théories comportementalistes et constructivistes nécessitent de pouvoir en extraire les traits forts et dominants, quitte à tordre le bâton ! Certaines «prises de distance» auraient été bienvenues. Par exemple, dans «Prises en compte des modes personnels», il aurait été bon de souligner que tout ceci suscite débat, que le fameux couple «auditifs-visuels» est loin de faire l'unanimité. De même les outils proposés pour des activités («comment apprenez-vous ?», «modes de fonctionnement cognitifs»), pour astucieux qu'ils soient, pourraient laisser croire que tout ceci est si facile à déterminer qu'on se demande bien pourquoi les enseignants ne se soumettent pas tous à cette évaluation. Après un chapitre consacré à l'enseignement et à une tentative de modélisation sous forme de trois types d'enseignement, les auteurs introduisent les concepts fondamentaux : les trois pôles de la situation didactique présentés d'une façon

moins schématique que, bien souvent, les représentations, la transposition, le contrat didactique, toutes choses qui seront reprises de façon plus explicite dans les chapitres suivants. Un chapitre est consacré aux «Erreurs, conceptions, représentations... des élèves», posant bien le problème du statut de l'erreur, mais très court : ce qui peut étonner mais semble en fait un bon choix car, en ce domaine, existe déjà une littérature abondante et accessible. La partie «Construire des concepts et mettre en œuvre des raisonnements» est beaucoup plus détaillée : appui sur l'histoire des sciences, sur Bachelard, analyse des modes de raisonnements élémentaires, conceptions et obstacles. Voilà de quoi fournir matière à réflexion pour des stagiaires en général fort ignorants en la matière. Après une courte introduction sur les questions de transposition didactique, suivent deux chapitres plus conséquents sur l'évaluation et sur les activités de modélisation. Ce dernier, fort solide, est bien le reflet des orientations actuelles de nombreuses recherches en didactique des sciences

physiques. Suit un sujet plus pointu, les problèmes de la mesure. Les derniers chapitres sont consacrés à l'informatique dans l'enseignement, les relations physique-technologie et physique-mathématiques, pour terminer par l'insertion heureuse de parties sur la physique à l'école élémentaire et la formation des maîtres.

On comprend donc, après ce rapide survol du contenu de l'ouvrage, la difficulté du pari : faire une présentation quasi exhaustive des centres d'intérêts des didacticiens tout en étant lisible par un public ignorant de la chose. Tout lecteur averti pourra y trouver des imperfections ; la question est de savoir si ce premier abord induit une vision par trop réductrice de l'état des lieux : je pense que non et qu'au contraire il s'agit d'une bonne introduction. En conséquence, cet ouvrage me paraît devoir être chaudement recommandé aux stagiaires en IUFM comme aux professeurs en exercice pour une «entrée en didactique».

J.-J. Dupin