



Conception de travaux pratiques par les enseignants : analyse de quelques exemples de physique en termes de transposition didactique

**Preparation of Hands-On Experimental Activities
for Pupils: A Few Case Studies of Learning by
Transfer in Physics Class**

**Entwurf von praktischen Übungen durch die
Lehrer: Analyse von einigen Beispielen in Physik
in Bezug auf ihre didaktische Umsetzung**

**Concepción de cursos de prácticas de ciencias
por los docentes : análisis de algunos ejemplos de
ciencias físicas en términos de transposición
didáctica**

Hélène RICHOUX,

UMR Interactions, corpus,
apprentissage, représentations,
Université Lyon 2, ENS LSH,
ENS Lyon, INRP.

Daniel BEAUFILS,

Laboratoire DidaScO,
Université Paris 11.

Résumé

Dans l'enseignement des sciences, les activités expérimentales ont une importance régulièrement réaffirmée, notamment au regard d'une certaine « image » de la science. Dans le cadre d'une recherche sur la conception de travaux pratiques par des enseignants de physique-chimie de lycée, nous avons été amenés à nous interroger sur les éléments qui caractérisent les activités scientifiques considérées comme authentiques (constituant donc les invariants d'une transposition didactique) et, en corrélation, sur les écarts entre activités de référence et activités scolaires. Cet article présente une première étude qui repose sur le choix de démarches scientifiques de référence et l'observation de travaux pratiques. Ces observations, articulées à une série d'entretiens avec chaque enseignant, montrent que les activités qu'il propose aux élèves peuvent être élaborées sans référence à des pratiques scientifiques extérieures. Notre conclusion est alors que la transposition se caractérise par un expérimental réduit à de l'instrumental, et un quantitatif réduit au numérique. Bien que reposant que sur un nombre limité de cas, les conclusions tirées de l'analyse de situations choisies pour leur caractère typique nous paraissent constituer la base d'investigations didactiques à poursuivre.

Mots clés : *Épistémologie, activités scientifiques, transposition didactique, enseignement de la physique, travaux pratiques, pratiques d'enseignants.*

Abstract

The importance of experimental activities in the teaching of the sciences cannot be refuted especially given what has long been our vision of the discipline. This study concerning secondary-school chemistry and physics teachers and their preparation of practical work for pupils takes a look at what defines "authentic" scientific activities which include constants that can be transferred from the real-world as well as the differences that exist between scholastic activities and those taken as real-world references. This study, which may be the first of its kind, is dedicated to the choice of these references and to practical-work observation, the latter which, in conjunction with teacher input, showed that the work asked of pupils could have been carried out without consulting any real-world scientific practices. It would thus seem that transferring real-world practices to the classroom has its limits: experimental work is reduced to none other than instrument manipulation whilst measuring and calculating activities are reduced to graph plotting, etc. Though based upon only a few case studies, the conclusions can nonetheless be considered as a solid base for further didactics research given the typical nature of the activities observed.

Key words: *epistemology, scientific activities, transfer, the teaching of physics, practical work, teaching practices*

Zusammenfassung:

Im Unterricht der Physik und der Naturwissenschaften kommt den Experimentiertätigkeiten eine Bedeutung zu, die regelmäßig erneut bekräftigt wird, unter anderem in Bezug auf ein bestimmtes „Bild“ der Wissenschaft. Im Rahmen einer Untersuchung über den Entwurf von praktischen Übungen durch Physik- und Chemielehrer am Gymnasium mussten wir uns über die Elemente Fragen stellen, die die als authentisch betrachteten wissenschaftlichen Aktivitäten (d.h. Aktivitäten, die die Invarianten einer didaktischen Umsetzung ausmachen) kennzeichnen und, im Zusammenhang damit, über die Abweichungen zwischen Referenzaktivitäten und schulischen Aktivitäten. Dieser Artikel stellt eine erste Untersuchung dar, die sich sowohl auf die Wahl von wissenschaftlichen Methoden als Maßstab als auch auf die Beobachtung von praktischen Übungen stützt. Diese Beobachtungen, aufbauend auf einer Reihe von Gesprächen mit jedem Lehrer, zeigen, dass die Aktivitäten, die der Lehrer den Schülern vorschlägt, ohne Bezug auf äußere wissenschaftliche Praktiken ausgearbeitet werden können. Daraus ziehen wir dann den Schluss, dass die Umsetzung sich durch eine auf eine Instrumentalkomponente reduzierte Experimentalkomponente und durch auf Numerisches reduziertes Quantitatives auszeichnet. Obwohl sie nur auf einer begrenzten Zahl von Fällen beruhen, scheinen uns die Schlüsse, die aus der Analyse von für ihren typischen Charakter ausgewählten Situationen gezogen wurden, die Grundlage für weiterzuführende didaktische Untersuchungen zu bilden.

Schlüsselwörter: Epistemologie, wissenschaftliche Aktivitäten, didaktische Umsetzung, Physikunterricht, praktische Übungen, Lehrerpraktiken.

Resumen

En la enseñanza de ciencias, las actividades experimentales tienen una importancia regularmente reafirmada en particular en lo que se refiere a « una cierta imagen de la ciencia ». En el ámbito de una investigación sobre la concepción de cursos de prácticas por docentes de ciencias físicas y de química de instituto, nos hemos interrogado sobre los elementos que caracterizan las actividades científicas consideradas como « auténticas » que constituyen pues los « invariantes de una transposición » y, en correlación, sobre la distancia entre actividades de referencia y actividades escolares. El presente artículo presenta un primer estudio que se basa en la elección de procedimientos científicos de referencia y la observación de prácticas. Estas observaciones articuladas con una serie de entrevistas hechas a cada docente muestran que las actividades que propone cada uno a sus alumnos pueden ser elaboradas sin referencia a prácticas científicas exteriores. Nuestra conclusión es entonces que la transposición se caracteriza por un « experimental » reducido a un « instrumental » y un « cuantitativo » reducido a un « numérico ». Aunque solo se basan sobre algunos casos, las conclu-

siones sacadas del análisis de situaciones elegidas por su caracter típico, nos parecen constituir una base de investigaciones didácticas dignas de ser continuadas.

Palabras clave : *Epistemología, actividades científicas, transposición, enseñanza de ciencias físicas, cursos de prácticas, prácticas de docentes.*

INTRODUCTION

Les activités expérimentales dans l'enseignement de la physique et de la chimie sont considérées comme essentielles, tant par les concepteurs de programmes que par les enseignants. Parmi les arguments régulièrement réaffirmés, figure celui de la référence à une science expérimentale, renvoyant à une certaine idée de la science, ou du moins de l'activité scientifique, où se mêlent des points de vue épistémologiques et des arguments relatifs aux méthodes et à l'instrumentation¹.

Ceci conduit à une problématique ayant fait l'objet de nombreuses études et recherches. Duggan & Gott (1995) soulignaient que si, globalement, les activités expérimentales étaient considérées comme "a good thing", les raisons justifiant cette affirmation n'étaient pas claires. À la même époque, le projet européen Labwork in Science Education démarrait sous l'impulsion de M.-G. Séré (1998) associant de nombreuses équipes de didactique des sciences. Parmi les questions de recherche, celle de la nature des activités d'investigation et de leur référence à la science ont été abordées par plusieurs équipes (Jenkins, 1999 ; Ntombela, 1999) y compris sur le plan épistémologique (Leach, 1999 ; Guillon & Séré, 2002). Récemment, Chinn & Malhotra (2002) se sont penchés spécifiquement sur la question de l'authenticité des activités d'investigation en classe de science.

Nous avons abordé ce type de questionnement dans le cadre d'un travail de recherche portant sur les travaux pratiques de physique en classe de lycée. Notre intérêt était centré sur l'authenticité des activités expérimentales, mais notre approche concernait le travail d'élaboration des séances par les enseignants et en particulier le rôle qu'ils attribuaient aux expériences quantitatives (Ayçaguer-Richoux, 2000 ; Richoux & Beaufils, 2003). Nous avons donc porté notre attention, d'une part sur les caractéristiques des activités expérimentales en classe de lycée, et d'autre part sur les raisons qui, aux yeux des enseignants interrogés, légitimaient la mise en œuvre d'instruments de mesure et de méthodes d'analyse quantitative.

(1) L'enseignement des sciences au lycée est d'abord conçu pour faire aimer la science aux élèves, en leur faisant comprendre la démarche intellectuelle, l'évolution des idées, la construction progressive du corpus de connaissances scientifiques (BOEN, hors-série n° 2, 30 août 2001).

Sur le plan théorique, nous nous sommes placés dans le cadre de la transposition didactique. Nous avons cherché à mesurer l'écart (sur le plan des démarches et des méthodes) entre des activités savantes et les activités mises en place en travaux pratiques et, corrélativement, à identifier les critères d'authenticité constituant les invariants de la transposition. Sur le plan pratique, nous avons cherché à analyser finement le point de vue de quelques enseignants (experts et novices). Nous rapportons ici deux études de cas dont l'analyse amène un éclairage sur la disjonction, soulignée par Chinn & Malhotra (2002), entre activités dans les laboratoires scientifiques et activités dans la classe.

Dans la première partie, nous rappelons brièvement quelques éléments relatifs à la place institutionnelle, et néanmoins problématique, des activités expérimentales dans l'enseignement, et nous précisons les éléments du cadre théorique de la transposition didactique, dans lequel nous avons situé notre question de recherche. Nous présentons en particulier le schéma de démarches scientifiques choisi comme référence et introduisons les concepts d'invariants et de critères d'authenticité sur lesquels porte notre travail. Dans une deuxième partie, nous présenterons la méthodologie utilisée et consacrerons la troisième partie à l'analyse des données. Au terme de cette étude nous présenterons ce que peuvent être les invariants de la transposition des démarches scientifiques dans l'enseignement de la physique au lycée.

I. PROBLÉMATIQUE ET CADRE THÉORIQUE

1.1. Éléments d'une situation institutionnelle problématique

L'enseignement des sciences physiques, comme l'indiquent les principes généraux de l'enseignement au collège et au lycée (BOEN, 1992), repose sur la conduite d'expériences : « Au travers de la démarche expérimentale, [l'enseignement de la physique] doit former les esprits à la rigueur, à la méthode scientifique, à la critique, à l'honnêteté intellectuelle » et ainsi, « il doit montrer que cette représentation cohérente (de l'univers) est enracinée dans l'expérience : les activités expérimentales ont une place essentielle ». « L'expérimentation est une démarche essentielle des sciences. Elle consiste à imaginer, à inventer des situations reproductibles permettant d'établir la réalité d'un phénomène ou d'en mesurer les paramètres. Cette démarche qui appartient à toutes les sciences envahit aujourd'hui du fait de l'ordinateur, les mathématiques ». Par ailleurs, l'intérêt de faire réaliser des expériences dans le cadre des travaux pratiques, où les élèves peuvent manipuler eux-mêmes, est souligné en ces termes : « plus concernés, les élèves sont plus responsables de la construction de leur propre savoir ». Ce sont en des termes très voisins que les nouveaux programmes expliquent « la place privilégiée accor-

dée aux activités expérimentales » (BOEN, 1999, p. 8).

Une lecture plus précise révèle pourtant des aspects qui peuvent paraître paradoxaux lorsqu'il s'agit des mesures et des résultats expérimentaux. Les incertitudes expérimentales n'apparaissent pas dans les contenus des programmes mais le traitement statistique des mesures est développé dans les documents d'accompagnement : rappels théoriques, résultats de travaux didactiques, propositions pour une mise en œuvre au niveau du lycée. De fait, dans la pratique standard de l'enseignement, le traitement statistique des mesures est très peu pris en compte, comme en témoigne l'enquête menée auprès d'enseignants de lycée (Séré *et al.*, 1998).

On peut également relever que, dans ces mêmes documents, si la démarche expérimentale et la démarche scientifique sont mises en avant, rien n'est précisé quant à la caractérisation ou la description de celles-ci, ni quant aux pratiques scientifiques qui seraient (ou pourraient être) prises comme référence, comme si la référence à « la » science était évidente, voire univoque, et qu'elle faisait partie de la culture personnelle de chaque enseignant. En particulier, on trouve très peu d'indications sur le rôle des expériences quantitatives et des mesures (Bécu-Robinault, 1997 ; Richoux, 1998).

Le cas de l'introduction des instruments informatisés apparaît comme particulièrement révélateur des écarts entre activités scientifiques et activités proposées en travaux pratiques. Le discours officiel rappelle l'importance des technologies de l'information, pour lesquelles « on ne comprendrait pas que l'enseignement scientifique ne soit pas en priorité engagé dans [leur] utilisation » (BOEN, 1999), et qui apparaissent notamment à travers « l'automatisation de l'acquisition et du traitement des données expérimentales [qui] peut permettre de mieux ouvrir la réflexion des élèves aux aspects statistiques de la mesure et au dialogue entre théorie et expérience » (BOEN, 2000). Dans le cadre d'une recherche menée à l'Institut national de recherche pédagogique, l'étude de fiches de travaux pratiques relatives à « l'ordinateur, outil de laboratoire »² a montré que l'introduction des méthodes informatisées s'est souvent traduite par l'augmentation des consignes techniques de manipulation du logiciel, et dans ce cas par un appauvrissement de l'activité cognitive des élèves et que certaines méthodes de mesures et de traitement de données peuvent être utilisées à contre-emploi (Beaufils *et al.*, 1999 ; Milot *et al.*, 1999).

(2) Problématique née durant les années quatre-vingt ; voir par exemple Beaufils, 1991.

1.2. Question de recherche : critères d'authenticité scientifique comme invariants de la transposition didactique

S'interroger sur les références à l'activité scientifique savante et étudier les écarts avec les activités scolaires est une démarche qui s'inscrit naturellement dans le cadre théorique de la transposition didactique. Ce concept, présenté par Chevallard (1991) comme permettant d'étudier la transformation d'un « savoir savant » en « savoir enseigné » dans le cadre de l'enseignement de mathématiques, a trouvé un écho dans le domaine de l'enseignement des sciences expérimentales, où la problématique est posée non pas strictement en terme de « savoir savant » mais également en termes de pratiques de référence (Martinand, 1982). La transformation est alors caractérisée par un « écart » entre le domaine de référence et ce qui est enseigné, qui doit alors pouvoir être défini (Durey & Martinand, 1992).

Selon notre point de vue, la transposition peut se représenter par une transformation d'un domaine dit de référence (même s'il n'est pas nécessairement explicité) au domaine de l'enseignement, dans lequel sont modifiés, ajoutés ou ignorés, des éléments constitutifs du domaine de référence. Pour que l'ensemble d'arrivée (domaine de l'enseignement) soit reconnu comme étant une image de l'ensemble de départ (domaine de référence), il faut qu'un certain nombre d'éléments apparaissent en quelque sorte comme des invariants (Tiberghien, 1989 ; Beaufils, 1991) qui se conservent et sont donc considérés comme représentatifs du domaine de référence. Poser ainsi en hypothèse-cadre l'existence d'un processus de transposition implique donc de rechercher le ou les domaine(s) pris comme référence de façon suffisamment précise pour pouvoir mesurer l'écart et identifier les invariants de la transformation.

On peut noter ici que le domaine de référence n'est pas nécessairement une activité sociale précise, mais peut être une activité modélisée, telles les références épistémologiques présentées dans différents travaux antérieurs (Beaufils, 1991 ; Guillon, 1992 ; Guillon & Séré, 2002)³.

Notre question de recherche portait donc sur l'analyse (en termes de transposition) des activités préparées par les enseignants : quelle part des activités scientifiques se retrouve dans les travaux pratiques ? Les enseignants conçoivent-ils ces séances en référence à des pratiques ou des modèles d'activité scientifique ? Quels sont les critères d'authenticité scientifique qui permettent de reconnaître que cet enseignement est bien celui d'une science dite expérimentale ?

(3) L'importance de la question de la modélisation des savoirs de référence a été soulignée par ailleurs par Rogalski & Samurçay (1994).

1.3. Le schéma des démarches scientifiques pris comme référence

Reprenant les éléments constitutifs de l'analyseur pour la transposition (Durey & Martinand, 1992), nous avons été amenés à deux constats. En premier lieu, les questions relatives aux problèmes, objets et phénomènes apparaissent inadaptées dans notre cas : comme souligné par ailleurs (Beaufils, 1991), les objets et phénomènes étudiés dans l'enseignement secondaire (chute libre, charge du condensateur, réfraction, etc.) ne font plus l'objet de recherche depuis fort longtemps et ne sont donc pas en jeu ici. En second lieu, la question du traitement de ces phénomènes, si elle renvoie bien aux interrogations sur les démarches qui nous intéressent ici, liées notamment à la modélisation, elle évoque des outils conceptuels, graphiques ou mathématiques, mais non les instruments en tant que tels, inclus semble-t-il dans la « phénoménotechnique »⁴.

Pour notre analyse en termes de démarches, nous nous sommes appuyés sur le schéma d'A. Guillon (1996) qui, suivant une problématique très proche de la notre et modélisant des voies spécifiques d'un processus de recherche complexe tel que présenté par Gil-Perez (1993), a étudié « les démarches du physicien » pouvant être prises comme référence (Guillon, 1995, 1996). Il a ainsi distingué quatre démarches de base (« mathématique », « de simulation », « théorique » et « expérimentale ») soulignant que, dans la pratique, le physicien peut mettre en œuvre successivement plusieurs de ces démarches, puisque le processus de modélisation est une dynamique associant phénoménologie, modélisation et application du modèle (INRP-LIREST, 1992).

Déjà au niveau de l'enseignement supérieur, A. Guillon (1996) notait que la démarche « mathématique » était mise de côté. Dans le cadre de l'enseignement secondaire, il est aisé de constater qu'il en est de même et que, de plus, la démarche « de simulation » reste très rare. Le nombre des démarches se limite donc d'emblée à deux. Partant d'un questionnement à propos d'un système ou d'un phénomène complexe, l'une des démarches passe par l'élaboration d'un « modèle physique » qui, traduit en équation dans le cadre d'une théorie générale, conduit à des relations physico-mathématiques (ce modèle est dénommé aussi « modèle de connaissance » par J.-C. Trigeassou (1988)). L'autre démarche repose sur la prise de données expérimentales dans le système pris dans sa complexité, l'objectif étant d'aboutir à une représentation mathématique traduisant le comportement du système (le « modèle de comportement » selon Trigeassou (1998)). Ces deux démarches sont alors en interaction : le « modèle de comportement »

(4) Terme source d'ambiguïtés qui, pris au sens originel de Bachelard, désigne une phénoménologie (par le truchement d'une technique) et non une technique (Beaufils, 1999).

doit pouvoir être interprété, et le modèle théorique confronté à l'expérience. C'est en référence à ce schéma que nous avons cherché à situer les activités mises en œuvre dans notre étude (voir figure 1 ci-dessous).

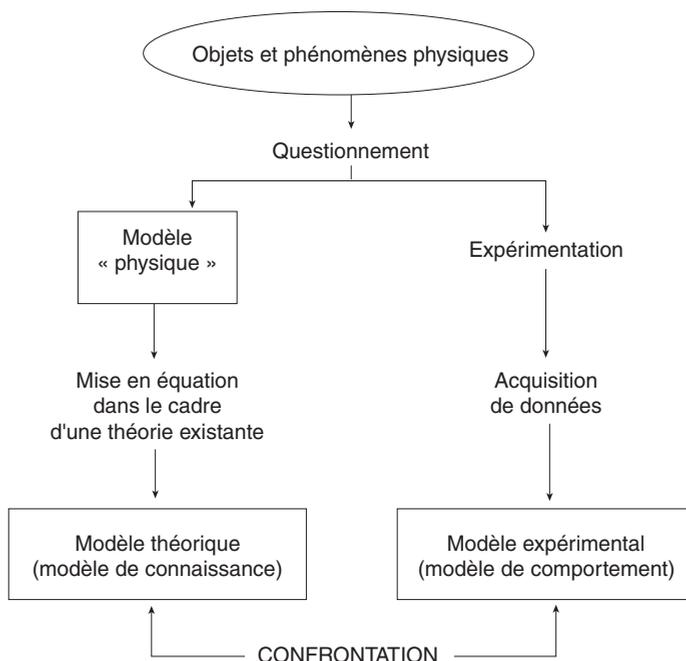


Figure 1 • Démarches du physicien
(d'après le schéma synoptique d'A. Guillon, 1995, p. 116)

Pour ce qui concerne l'instrumentation, la situation de l'enseignement des sciences, et en particulier de la physique, est tout à la fois simple et paradoxale. En effet, si les questions de physique que nous évoquions précédemment renvoient à des questions scientifiques remontant parfois à plusieurs siècles, les instruments mis à disposition des élèves sont on ne peut plus modernes : multimètres numériques, oscilloscopes, sources laser, ordinateurs munis d'interface, capteurs de force, de pression, etc. Nous reviendrons dans la conclusion sur l'importance donnée à ces instruments⁵.

(5) Cet anachronisme avait été souligné lors de travaux sur l'introduction de l'ordinateur, outil de laboratoire et résolu par la prise en compte d'une double référence : une référence épistémologique pour les démarches et une référence à la modélisation expérimentale pour l'utilisation des méthodes informatisées (Beaufils, 1991).

II. ÉLÉMENTS DE MÉTHODOLOGIE

Si dans l'enseignement français de physique-chimie au lycée, des expériences sont mises en œuvre en cours comme en travaux pratiques, c'est essentiellement dans cette dernière situation que se développent les activités expérimentales : les élèves, en suivant généralement les consignes d'une fiche d'activités, réalisent alors des expériences dont ils exploitent les résultats. C'est pourquoi nous avons privilégié l'étude des démarches mises en œuvre dans le cadre des travaux pratiques.

Le choix des situations à étudier s'est appuyé sur un travail exploratoire (Richoux, 1998) réalisé au niveau de la terminale S. Celui-ci a fait apparaître la très forte emprise du baccalauréat sur les choix des enseignants ; aussi nous avons travaillé au niveau de la classe de première S.

Nous avons retenu, dans le cadre du programme de la classe (BOEN, 1992), des sujets reconnus comme « sujets pérennes » (Bécu-Robinault, 1997) pour lesquels les enseignants pouvaient avoir des objectifs différents et organiser des démarches également différentes : chute libre, bilan énergétique d'un dipôle et mesure d'une grandeur calorimétrique.

Connaître les éléments que l'enseignant prend en compte pour élaborer, pour construire chaque séance de travaux pratiques, nécessitait d'atteindre un niveau assez fin dans la description et dans l'analyse des séances effectivement mises en œuvre. Nous avons donc choisi de conduire des entretiens en nous appuyant sur l'analyse des fiches de travaux pratiques considérées comme représentatives de la construction de l'enseignant. Cette méthodologie lourde a évidemment limité d'autant le nombre d'enseignants suivis.

2.1. Choix des enseignants

Nous avons choisi de travailler sur les mêmes thèmes de travaux pratiques (TP) d'un même niveau d'enseignement, mais en suivant des enseignants différents. Ainsi quatre enseignants ont participé à cette étude. Dans la suite de l'article nous relatons l'analyse de pratiques de deux professeurs qui enseignent dans les classes scientifiques de lycée depuis une dizaine d'années (nommées P2 et P4 dans la suite) et que nous avons pu suivre durant toute l'expérimentation.

Par ailleurs, les établissements (situés dans la région Île-de-France) n'ont pas été particulièrement sélectionnés, l'idée étant que les classes concernées, dont le niveau d'ensemble ne pouvait être connu a priori, ne devaient pas présenter de caractéristiques trop particulières.

2.2. Choix des travaux pratiques observés

Ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, nous avons retenu trois sujets pérennes et pour lesquels les élèves réalisent a priori des activités quantitatives. Nous développerons ici l'analyse de deux thèmes que l'on retrouve dans le programme actuellement en vigueur (BOEN, 2000) : la chute libre et le bilan énergétique d'un dipôle électrique.

La chute libre

Ce premier sujet fait référence aux chapitres du programme de physique (BOEN, 1992) intitulés :

- « Mouvement du centre d'inertie. Modification du vecteur vitesse de G (direction et/ou module), exemple de la chute libre », chapitre pour lequel sont proposées des activités avec des « mesures cinématiques à l'aide de capteurs et traitement sur ordinateur » ;

- « Bilans énergétiques », chapitre pour lequel les commentaires indiquent : « [qu']à partir de la connaissance de l'énergie cinétique introduite a priori et du principe de la conservation de l'énergie, l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur peut être induite expérimentalement à l'aide de la relation $v^2 = 2gh$ de la chute libre ».

L'étude de la chute libre apparaît ainsi incontournable dans le programme de la classe de première S et rien dans l'intitulé du programme, des activités proposées ou des commentaires, n'impose une démarche particulière à l'enseignant.

Du point de vue des références scientifiques, la chute libre est une situation idéale dans laquelle seule intervient l'interaction entre la Terre et l'objet étudié. Compte tenu de nos questions de recherche, ce sujet nous intéresse car :

- le modèle physique et le modèle théorique de la chute libre font partie des connaissances à construire par les élèves ;

- au cours de l'activité, la référence au modèle de la chute libre amènera l'enseignant à comparer et à confronter la valeur connue de l'intensité de la pesanteur g à la valeur issue de l'expérience.

Étude d'un dipôle électrique

Pour étudier les bilans énergétiques des récepteurs et générateurs dans le cadre du chapitre du programme (« Générateurs et récepteurs. Puissance électrique. Effet Joule. Rendement d'un moteur électrique », BOEN, 1992), les manuels scolaires et les fiches de TP mises à la disposition

des enseignants s'appuient sur la caractéristique intensité-tension de ces dipôles. Notre intérêt portait ici sur les activités de modélisation qui sont en général proposées aux élèves :

- tracé de la caractéristique du dipôle ;
- linéarisation de la caractéristique, obtention du modèle expérimental et de ses limites ;
- détermination des valeurs des grandeurs force électromotrice ou force contre-électromotrice, résistance interne.

Par ailleurs, les phénomènes chimiques dans les piles et les électrolyseurs sont modélisés au niveau microscopique dans le cadre de l'enseignement de la chimie de la classe et nous cherchons à repérer les liens que les élèves sont amenés à faire entre les différents niveaux de modélisation et le comportement empirique de ces dipôles (par exemple : moteur qui tourne ou ne tourne pas, dégagement gazeux, dépôt métallique dans un électrolyseur).

2.3. Les entretiens avec les enseignants

Les entretiens menés avec les enseignants sont de deux types : les entretiens ciblés sur la séance de TP observée (entretiens préalables effectués avant chaque séance et entretiens après la séance) et un entretien plus général, dit de synthèse, qui est conduit en fin d'année scolaire. Les entretiens ainsi menés avec chaque enseignant sont semi-directifs (Blanchet *et al.*, 1996 ; De Ketele *et al.*, 1991).

Tous ces entretiens ont été enregistrés (sous format audio) et intégralement transcrits pour les professeurs P2 et P4.

Les entretiens préalables à chaque séance

Pour chacune des séances, les enseignants ont rédigé une fiche de TP pour leurs élèves. Le titre et les objectifs annoncés dans ces fiches de TP ne révèlent pas de façon évidente les objectifs d'apprentissage fixés par l'enseignant. Elles permettent, le plus souvent, de prévoir les actions des élèves et de comprendre leur travail sur les mesures. Elles permettent d'avoir une première idée de la démarche « scientifique » adoptée, mais on n'y trouve pas les justifications des choix qui ont été faits par l'enseignant. Ces entretiens préalables visent donc à amener l'enseignant à expliquer l'élaboration de la séance de TP, à expliciter ses choix, à indiquer ses prévisions quant au déroulement et aux résultats, c'est-à-dire qu'ils doivent permettre à l'enseignant de développer sa propre analyse a priori de la séquence. Les ques-

tions (regroupées par thème et disponibles en annexe 1) ont servi de trame pour l'entretien préalable qui est mené en s'appuyant sur la fiche rédigée par l'enseignant. Ces questions portent essentiellement sur la planification des activités afin de ne pas induire une réponse fabriquée pour la circonstance. En effet certaines raisons qui ont prévalu lors de l'élaboration de la séquence n'ont pu être qu'implicites : il s'agit alors de ne pas les faire expliciter artificiellement.

Nous présentons ci-dessous les différentes rubriques abordées et un extrait des questions (annexe 1) concernant la démarche mise en œuvre :

Q1 : Les objectifs d'apprentissage que l'enseignant assigne à ce TP

Q2 : La place du TP dans la progression

Q3 : Les activités des élèves et les résultats attendus

Q4 : La prise en compte de l'apprentissage

Q5 : La démarche expérimentale mise en œuvre :

- Quelle est la démarche choisie (vérification d'une « loi », comparaison à un modèle, recherche d'une relation de dépendance, description mathématique, ...) ?
- Quels sont les choix des conditions expérimentales pour les mesures (montages, paramètres, appareils de mesure, ...) ?
- Quels sont les résultats attendus ? Allure satisfaisante pour la courbe, vérification « à l'œil », écart relatif, ... ?
- Quels sont vos critères pour juger que les résultats obtenus par les élèves sont satisfaisants ?

Q6 : Le déroulement prévu

Q7 : L'évaluation du travail des élèves

Q8 : Les sources utilisées par les enseignants pour élaborer le TP

Les entretiens après chaque séance de TP

Chacune des séances a été observée (un chercheur muni d'une grille d'observation), et les échanges de l'enseignant avec la classe et avec les binômes d'élèves ont été enregistrés et partiellement transcrits. Les productions écrites de tous les binômes d'élèves ont été recueillies.

Les entretiens en fin de séance, également semi-directifs, ont pour objectif d'amener l'enseignant à faire sa propre analyse du déroulement du TP. Par ailleurs, ils donnent la possibilité à la fois de poser à l'enseignant les

questions qui n'ont pu lui être posées dans l'entretien préalable et de l'interroger sur d'éventuels écarts entre sa prévision et le déroulement observé.

Un entretien de synthèse

L'entretien de synthèse a été réalisé avec chacun des enseignants après que les trois séances de TP ont été réalisées. L'objectif de cet entretien est d'amener l'enseignant à préciser sa pratique d'enseignement et ses choix concernant les activités expérimentales quantitatives sur un plan plus général (et non plus pour une séance particulière). Nous avons ainsi élaboré un jeu de questions autour de ces activités pour repérer notamment les différentes fonctions que les enseignants attribuent aux expériences quantitatives (preuve, fonctionnement de la science, rigueur scientifique, ...) et les différentes fonctions qu'ils attribuent aux expériences quantitatives faites en TP par les élèves eux-mêmes. L'entretien qui s'appuie sur une grille de questions (annexe 2), vise à faire émerger les conceptions des enseignants interviewés sur les sciences expérimentales, l'apprentissage, et particulièrement l'apprentissage en sciences expérimentales (Désautels et al., 1996 ; Gil-Perez *et al.*, 1996 ; Lakin *et al.*, 1994 ; Porlán *et al.*, 2000 ; Robardet, 1995 ; Roletto, 1998 ; Van Driel & Verloop, 1999).

La grille de codage des entretiens préalables

Les questions que nous avons posées aux enseignants lors des entretiens préalables portent sur la planification des activités qu'ils ont élaborées. Ainsi le premier thème d'analyse porte sur ce sujet. Le deuxième thème d'analyse concerne les raisons, justifications, et argumentations que donnent les enseignants pour expliquer les choix qu'ils font lorsqu'ils élaborent une séance de TP scientifiques. Dans les entretiens, la planification est toujours justifiée par les enseignants P2 et P4 et leurs raisons apparaissent très variées :

- « pour finir le programme » ;
- « mais je voulais montrer que l'on peut passer de l'un à l'autre (grandeurs mathématiques, grandeurs physiques), que c'est pas des choses indépendantes » ;
- « ce qui fait que par rapport à un TP découverte du récepteur, je voulais évaluer aussi leur travail, enfin un petit peu de ce qu'ils avaient retenu de mon premier chapitre, de ce que j'ai fait en leçon » ;
- « j'ai qu'une heure et demie » ;
- « parce que je suis pas sûre d'avoir tout le monde sur des ordinateurs » ;

- « donc je m'étais dit il faut qu'ils fassent quelque chose... Il faut absolument que les autres soient occupés » ;

- « Je pense que c'est important pour eux d'être capables de lire des choses un peu techniques, entre guillemets ».

En se basant sur notre hypothèse, que des critères faisant référence à la science ou à l'activité des scientifiques apparaîtraient comme une justification des choix opérés, nous avons travaillé dans un premier temps à une structuration autour des conceptions des enseignants sur le fonctionnement de la science, sur l'apprentissage et l'enseignement en physique. Mais très clairement, et il s'agit là pour nous d'un premier résultat essentiel, les références attendues à des démarches scientifiques ne sont pas apparues spontanément pendant les entretiens préalables.

Notre catégorisation comporte alors essentiellement une prise en compte de références à l'enseignement scientifique et à la gestion du groupe (grille d'analyse en annexe 3).

L'analyse de la conception des TP par les enseignants a été menée avec cette grille, et nous la détaillons ci-après pour deux exemples.

III. ANALYSE DE LA CONCEPTION ET DE LA REALISATION DES TP PAR LES ENSEIGNANTS

3.1. Analyse des TP

Pour chacun des entretiens préalables, nous avons découpé les transcriptions des discours des enseignants en unités de signification (planification, raisons) et codé chacune d'elles en référence à la grille d'analyse (annexe 3). Pour caractériser les démarches mises en œuvre par les enseignants, nous nous appuyons sur les unités qui sont liées aux activités quantitatives que les enseignants ont planifiées :

- Pi2 : l'acquisition des mesures (choix du montage, réalisation, obtention des mesures, ...)

- Pi3 : le traitement mathématique de ces mesures (graphiques, relations algébriques, relations vectorielles, ...)

- Pi4 : l'analyse des résultats au sens large qui recouvre une première étude critique des résultats de mesure obtenus, l'interprétation physique de grandeurs issues du traitement mathématique, la confrontation d'un résultat expérimental avec la valeur tabulée, la confrontation d'un modèle théorique avec les résultats des mesures, ...

Donc pour l'étude qui suit, nous ne prendrons en compte dans l'analyse des raisons données par l'enseignant que celles qui ont un lien avec au moins un de ces items.

Les extraits des dialogues choisis ci-après sont repérés pour chaque entretien par le numéro d'ordre de la réplique. Chaque unité de signification est caractérisée par le code correspondant de planification ou de raison (cf. annexe 3).

La chute libre d'un corps (enseignant P2)

Quand les élèves réalisent cette séance de TP, ils ont déjà étudié le principe d'inertie mais n'ont pas abordé le cours sur la chute libre. L'enseignante a programmé ce TP avant le cours car :

- 42 (Rd6) : « *J'aime bien plutôt voir en TP, introduire en TP exploiter derrière, je préfère* » ;

- 46 (Rd5) : « *Il me semble que les élèves savent de quoi je parle puisqu'ils l'ont, si tu veux, ils l'ont un petit peu quand même, travaillé [...] ils se sont un peu coltiné la difficulté expérimentale [...] donc, quand moi je vais faire le cours, attention c'est une chute modélisée, idéale etc. Ils sauront de quoi je parle puisqu'ils vont avoir du mal* ».

Au cours de cette séance, en suivant les consignes d'une fiche de TP, les élèves doivent réaliser une étude cinématique du mouvement d'un objet tombant verticalement. Ils réalisent une acquisition automatique à l'aide d'un système informatisé dédié à l'étude des mouvements rectilignes et obtiennent alors un tableau de mesures (dates (t), vitesses (v) et positions (x)) qu'ils analysent ensuite avec un logiciel de calcul.

Comme l'indique l'enseignante, l'observation de l'ensemble des points expérimentaux $x(t)$ doit permettre aux élèves de reconnaître une forme parabolique :

- 128 (Pi3) : « *Je leur pose déjà une question, est-ce qu'on peut exploiter facilement un tel graphe ?* » ;

- 132 (Rd6) : « *Parce que j'aimerais bien quand même qu'ils me disent que c'est une espèce de parabole c'est à dire qu'on attend un t^2 , d'accord (?)* »,

et d'admettre alors la fonction mathématique qu'elle propose :

- 132 (Rd6) : « *Pour justifier mon modèle, pourquoi je choisis ce modèle-là.* »

Les élèves doivent ensuite observer la superposition des points expérimentaux avec le graphique, et relever la valeur optimisée du paramètre, ainsi que l'incertitude et « l'écart relatif sur x » calculé par le logiciel,

écart qui permettra à l'enseignante de conserver ou d'écarter les valeurs obtenues par les différents groupes d'élèves :

- 152 (Rd6) : « En réalité ce qu'il faudrait c'est, mais c'est pas ce que je voulais faire, mais tant pis j'ai laissé, il faudrait modéliser $b*t^2 + c*t$ + je ne sais pas quoi, + c, d'accord donc au niveau du, de leur exploitation de leurs mesures à eux, je ne sais pas quelle va être la qualité de leurs relevés, donc je m'attends un peu à tout ; mais je souhaite quand même qu'ils relèvent le pourcentage d'erreur [...] parce que c'est parlant, de manière à ce que, après, on puisse ou pas garder les résultats de tel ou tel groupe, on fera au moins ce tri-là. »

Dans les résultats obtenus pour les fonctions $x(t)$ et $v(t)$, les élèves doivent reconnaître la valeur de l'intensité de la pesanteur g pour établir ensuite les équations horaires du mouvement de translation d'un objet tombant verticalement en chute libre :

- 174 (Rd5) : « Et donc, mes mesures à moi j'ai trouvé / la pente à peu près 9,4, bon donc j'aimerais qu'ils reconnaissent g / je sais pas / j'aimerais qu'ils sentent que, peut-être il y a une relation avec g » ;

- 174 (Rp4b) : « Ceux qui ne verront pas je vais les aider ».

Dans cet exemple, les élèves ne font pas de confrontation entre un résultat expérimental et un modèle théorique. S'appuyant sur l'observation des graphiques (et sur les indications de l'enseignante), ils élaborent des relations mathématiques à partir desquelles le modèle physique sera introduit : les seuls coefficients que les élèves doivent calculer et reconnaître sont directement liés au modèle de la chute.

Par rapport au schéma d'A. Guillon cité précédemment, cette démarche aboutit au modèle expérimental mais ne se prolonge pas jusqu'à la confrontation. En fait, elle permet à l'enseignante de construire un référent pour son enseignement : les relations mathématiques issues des mesures serviront de support, de référence à la présentation ultérieure des éléments théoriques relatifs à la chute libre.

Caractéristiques intensité-tension d'un générateur et d'un électrolyseur (enseignant P4)

Quand les élèves réalisent cette séance, ils ont préalablement revu et/ou abordé en classe un ensemble de concepts (générateur, récepteur, puissance électrique, effet Joule, etc.). L'enseignante vise, à travers les activités et productions de ce TP, à faire établir (ou retrouver) par les élèves les lois d'Ohm pour les différents dipôles (lois qui permettront ensuite d'étudier les échanges énergétiques dans les circuits).

Les élèves doivent réaliser trois montages différents afin d'obtenir les mesures nécessaires au tracé des caractéristiques :

- d'un générateur appelé « boîtier pile » qui comprend une pile de 1,5 V associée à un conducteur ohmique de résistance 100 Ω ;
- d'un électrolyseur à électrodes inattaquables, contenant de l'acide sulfurique dilué ;
- d'un moteur (qui ne doit pas tourner dans l'intervalle étudié).

Pour chaque cas les élèves doivent « tracer la courbe $U = f(I)$ », proposer un modèle (et selon les dipôles, les limites de validité) et répondre à un ensemble de questions (loi physique pour un moteur bloqué, chaîne énergétique, etc.).

Nous ne retiendrons ici que la partie concernant la pile qui est rédigée ainsi sur la fiche de consignes : « Il s'agit de tracer pour une pile [...] la caractéristique $U = f(I)$. À partir des courbes obtenues, un modèle mathématique sera recherché. »

Après avoir obtenu le modèle mathématique, les élèves confrontent leurs résultats aux valeurs de la résistance du conducteur ohmique et de la f.é.m de la pile qui sont associés en série :

- 32 (Rd1) : « C'est pour ça que j'ai mis : « en utilisant vos connaissances de seconde » ;
- 32 (Rp4b) : « J'espère qu'ils vont repenser à $E - rI$ » ;
- 80 (Rd1) : « C'est une résistance de 100 Ω ce qui fait que, quand on fait, s'ils sont passés à la loi physique et qu'ils se souviennent que c'est la résistance interne de la pile ils doivent retrouver une résistance interne de cent et quelques ohms, normalement ils doivent se souvenir qu'une pile c'est quelques ohms, c'est pour ça que j'ai mis : « vous attendez-vous aux valeurs obtenues ? ».

Au niveau de la démarche mise en œuvre, dans un premier temps les élèves établissent une relation mathématique expérimentale puis dans une deuxième phase, doivent confronter les résultats aux valeurs des paramètres du modèle théorique qu'ils doivent connaître (f.é.m et résistance interne).

Premiers éléments de conclusion

L'analyse des TP pour l'ensemble des six séances montre que :

- à l'instar des séances que nous venons de présenter, la part des activités des élèves dans l'ensemble du processus est le plus souvent limitée : les choix expérimentaux, la prise en compte des conditions expérimentales, notamment, sont faits par l'enseignant ;

- dans cinq séances sur les six, les élèves ont eu à confronter leurs résultats expérimentaux à un modèle théorique ou à des valeurs de référence. Mais le terme confrontation apparaît trop fort en regard des activités effectivement menées par les élèves. Les incertitudes sur les mesures et sur les valeurs des paramètres obtenus ne sont ni prises en compte ni même évoquées : obtenir une courbe avec un palier, une droite qui passe par l'origine ou une valeur ayant le bon ordre de grandeur suffit pour valider l'accord entre le modèle et les résultats expérimentaux.

Ainsi, bien que les activités des élèves autour de l'acquisition et du traitement des mesures occupent quasi systématiquement une place centrale, les démarches élaborées par les enseignants pour les six séances de TP apparaissent très réduites par rapport au modèle choisi comme référence. Il est aisé de traduire ces observations dans le schéma des démarches que nous avons retenues précédemment. Dans le schéma qui en résulte (figure 2), nous avons fait apparaître ce qui est, de fait, dévolu à l'élève (le reste étant ce qui est pris en charge par l'enseignant) : la limite en pointillés correspond au cas où la confrontation fait partie de la séance de TP, celle en trait plein représente le cas où, par exemple, l'objectif de l'enseignant est d'aboutir à une description empirique pouvant servir de référent pour la présentation ultérieure des connaissances théoriques.

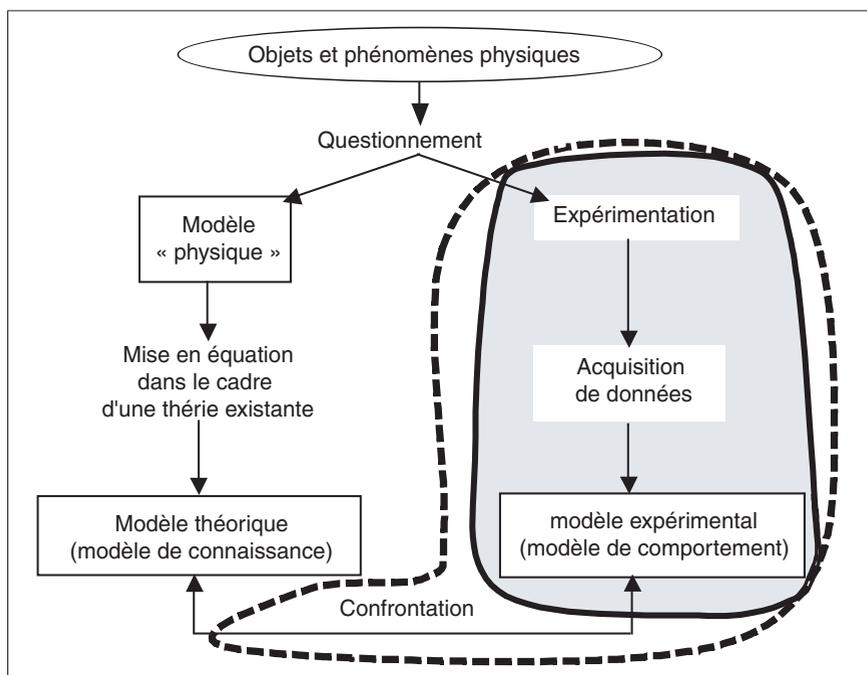


Figure 2 • La double limitation des démarches dans les pratiques scolaires observées

Comme nous l'avons indiqué ci-dessus, la part de l'élève dans les choix expérimentaux reste limitée mais l'analyse des entretiens préalables montre que les raisons données par les enseignants pour expliquer leurs choix sont majoritairement liées aux élèves : prise en compte de l'apprentissage (Rd4) et des difficultés et incertitudes quant à leur comportement en classe (Rd4b). Ainsi par exemple, l'analyse de la séance « caractéristiques intensité-tension d'un générateur et d'un électrolyseur », élaborée par l'enseignante P4, montre qu'elle a planifié pour les élèves un réseau de tâches, de questions qui doivent les amener à faire de nombreux liens entre l'objet « générateur », les mesures d'intensité et de tension, la caractéristique du dipôle et le modèle physique : les dipôles, les démarches ont été choisis pour que les élèves puissent réinvestir les connaissances du cours.

Nous nous sommes alors posés les questions des références des enseignants et des raisons qui les ont conduits à privilégier pour leur enseignement des activités reposant sur des mesures. L'étude des entretiens menés à la fin de l'expérimentation avec les deux enseignantes nous permettra d'apporter des éléments de réponse.

3.2. Les raisons de l'enseignant

Si notre objectif est ici d'analyser les démarches expérimentales élaborées par les enseignants et le rôle qu'y prennent les activités quantitatives, cet axe d'analyse ne rend pas compte de l'ensemble de la construction de l'enseignement, comme nous venons de le voir : une séance de TP s'inscrit en effet dans un cursus, avec des objectifs d'enseignement particuliers et des contraintes spécifiques (Richoux *et al.*, 2003).

La suite de notre travail a alors été de rechercher ce qui, aux yeux de l'enseignant, consciemment ou non, explicitement ou non, permet de reconnaître que cet enseignement est bien celui d'une science dite expérimentale, celui de la physique. C'est dans le cadre de l'entretien final que ces questions ont été essentiellement abordées.

Lors de l'entretien final, conduit à l'issue de l'ensemble des séances de TP, nous avons demandé aux enseignants de commenter et expliquer leur pratique à un niveau plus général. Nous nous sommes appuyés alors sur la liste des objectifs assignés aux TP (IGEN, 1996) et en particulier sur la proposition : « s'initier dans des situations concrètes à la démarche expérimentale : formuler une hypothèse, élaborer un protocole permettant de la tester, mettre en œuvre un protocole expérimental, analyser les résultats, tirer les conclusions ». Ces items se retrouvent, en des termes voisins, dans un tableau de compétences mises en jeu lors des séances de TP, dans la rubrique : « compétences liées à l'expérimentation » (BOEN, 1999). Nous présentons ci-dessous les réponses des enseignants lors de l'entretien de synthèse, précédées du numéro du tour de parole.

S'initier à la démarche expérimentale ?

Les enseignantes P2 et P4 sont globalement favorables à ces objectifs mais notent qu'elles font peu pratiquer ce type de démarche à leurs élèves, essentiellement pour des raisons de temps :

- P2, 174 : « *Je suis pour, mais c'est pas facile à faire, je suis tout à fait pour. Quand on a le temps et puis quand ça tombe assez bien par rapport à ce que l'on souhaite faire parce que le cours avance et les contrôles et que ceci [...]* ».

Elles indiquent également le caractère limité des situations qui restent simples, et leurs difficultés à les concevoir, les construire :

- P4, 134 : « *[Élaborer et mettre en œuvre un protocole] est quelque chose que j'aimerais bien faire plus souvent, c'est quelque chose que j'ai du mal à concrétiser, donc en terminale pour des raisons de temps parce que je crois que ça prend beaucoup plus de temps qu'un TP ordinaire, on va dire et autrement j'ai du mal à le rédiger quoi, à savoir comment amener les élèves à faire* ».

Pourtant les deux reconnaissent bien l'intérêt pour les élèves de ces activités :

- P4, 138 : « *Ben je dirais que en fait c'est la différence entre l'exécutant et l'intelligent entre guillemets parce qu'en fait les TP qu'on fait habituellement c'est des TP d'exécutants, je dis pas qu'il faut pas être scientifique pour les faire ça c'est pas vrai, il y a quand même des capacités scientifiques à utiliser mais ça va pas très très loin mais là c'est là qu'on va détecter quelqu'un qui est capable de pratiquer une démarche scientifique je pense [...] je pense que j'en fais pas assez* » ;

- P2, 174 : « *Parce que c'est là où je vois vraiment, j'arrive à voir leurs qualités en fait, tu vois, leur inventivité [...] mais j'arrive à voir le soin qu'ils vont mettre dans l'élaboration du protocole puis à réaliser après, ensuite l'organisation, l'entente aussi entre les élèves* ».

Ces répliques montrent que l'intérêt des enseignants ne porte pas sur les articulations de la démarche, ses différentes étapes, mais sur les qualités que les élèves peuvent développer lors de la mise en œuvre des activités.

Des mesures pour quoi faire ?

Mais alors se pose naturellement la question : « Pourquoi fait-on faire tant de mesures aux élèves dans l'enseignement de la physique ? ». L'éventail des réponses apportées est très large et les potentialités accordées aux activités quantitatives peuvent se décliner ainsi :

- des expériences quantitatives pour acquérir des techniques et maîtriser des outils ;
- des mesures qui s'inscrivent dans les démarches ;
- des mesures pour valoriser les élèves ;
- des expériences quantitatives pour concrétiser, pour acquérir des connaissances ;
- des mesures pour convaincre.

Pour ces enseignantes, dans le contexte de la classe, les activités quantitatives n'ont donc pas, comme nous l'avions déjà remarqué, le statut du mesurage des scientifiques et donc, en cohérence, les incertitudes sur les mesures n'y ont pas de place. Les raisons qui justifient la mise en œuvre des expériences quantitatives en TP sont très variées et très imbriquées (raisons pédagogiques, raisons d'enseignement de la physique, raisons liées à la formation, etc.). Elles ont en commun de ne pas prendre comme référence explicite les activités du physicien, mais de se centrer sur l'élève. Ce sont des références professionnelles d'enseignant de physique, que les professeurs interrogés ont explicitées, détaillées. Toutes les activités menées concourent au bon déroulement d'ensemble, à la bonne organisation des séances pour l'acquisition des connaissances du programme par les élèves.

Quel rôle pour les résultats ?

Dans ces constructions complexes où l'élève est central, les démarches mises en place par les enseignants apparaissent alors proches de la « monstration » (Johsua *et al.*, 1993) : les appareils ou dispositifs sont adaptés de façon à laisser la part la plus grande aux manipulations et mesures en relation étroite avec le phénomène à étudier, les activités sont orientées de façon à faire obtenir les valeurs et les graphiques escomptés. Les élèves doivent voir ce qu'il y a à voir sans être perturbés par des aspects techniques et doivent obtenir la valeur numérique ou la courbe « institutionnelle ».

Nos résultats sont en concordance avec les conclusions de différentes recherches sur les pratiques des enseignants en science : les observations (ici au sens large qui comprend les graphiques) occupent une place fondamentale dans l'apprentissage (Haslam *et al.*, 1998). Dans cette perspective, les résultats expérimentaux ne doivent pas être éloignés de la théorie et les options des enseignants peuvent alors différer : discuter du résultat, truquer l'expérience (Nott *et al.* 1995 ; Fairbrother *et al.* 1997), ne pas faire l'expérience :

- P2, 284 : « *Pourquoi je l'ai pas fait ? Parce que c'était nul mes résultats [...] je me suis dit je montre pas ça, je fais pas faire ça aux élèves ils vont*

pas, en seconde ils sont pas capables de, comment te dire, passer par dessus la difficulté de la mesure pour arriver à sortir un résultat, donc je l'ai pas fait ».

IV. CONCLUSION : INVARIANTS DE LA TRANSPOSITION ET AUTHENTICITE SCIENTIFIQUE

Notre étude visait une première analyse de la conception d'activités expérimentales réalisées dans le cadre institutionnel des TP de l'enseignement de physique de lycée. Ces séances sont le lieu privilégié du développement des démarches dites « scientifiques », ainsi associées aux idées de situations-problèmes, d'investigation scientifique, d'activités de modélisation, etc.

Nous plaçant dans le cadre de la transposition didactique, nous avons cherché d'une part à mesurer l'écart entre une pratique de référence et l'activité scolaire et d'autre part, à identifier ce que nous avons appelé les invariants de la transposition, c'est-à-dire ce qui reste caractéristique du domaine de référence après transposition. Dans notre cas, l'interrogation porte sur les caractéristiques des activités scolaires qui les font reconnaître comme scientifiques ; c'est en ce sens que nous avons introduit l'expression « d'authenticité scientifique ».

Notre choix a d'abord concerné les démarches scientifiques pouvant être prises comme référence et nous nous sommes appuyés sur des travaux antérieurs ayant porté sur un enseignement de physique au niveau supérieur. Par ailleurs, nous avons choisi les thèmes de TP pour leur caractère typique et pérenne. Le travail a comporté deux aspects complémentaires, et à notre avis indissociables, dans ce type de recherche : l'observation des séances et les entretiens avec l'enseignant avant et après chaque séance.

L'analyse que nous avons faite des résultats montre que les activités se trouvent essentiellement centrées sur l'action : réaliser les expériences, faire des mesures, modéliser les résultats expérimentaux par une relation physico-mathématique faisant office de conclusion. Les activités liées à la problématisation, à l'appropriation du questionnement initial, ainsi que celles relatives à l'analyse critique des résultats sont souvent très réduites, si ce n'est absentes.

Les contraintes institutionnelles, ainsi que nous l'avons montré dans une autre partie du travail sont évidemment un facteur explicatif premier. Cependant notre investigation, en particulier lors de l'entretien de synthèse, nous a permis de constater que les activités proposées aux élèves peuvent être élaborées sans référence à des pratiques scientifiques extérieures. Très clairement, les démarches conçues par les enseignants sont d'abord didactiques, le terme étant ici à opposer à l'adidactique pouvant caractériser des

démarches d'investigation. Ce choix apparaît comme fait en toute connaissance de cause par les enseignants et repose bien sur une cohérence forte de nature didactique prenant en compte les difficultés d'apprentissage bien connues des élèves. Pour résumer, la présence du quantitatif (mesures et calcul), rendu ainsi central, accompagne le détournement d'activités scientifiques vers la réalisation de manipulations qui visent à montrer telle ou telle phénoménographie (en liaison avec le cours) plutôt qu'à démontrer (au sens de la preuve expérimentale). Ces expériences données à faire aux élèves apparaissent alors sous la forme apparemment paradoxale de « monstres » dévolues à l'élève.

Pour ce qui concerne la question de la reconnaissance du caractère scientifique, ce qui ressort de nos observations et de nos entretiens est également clair : celle-ci repose sur la présence et la manipulation d'instruments (matériels, instruments de mesure), sur l'acquisition de résultats numériques de mesure et sur la mise en œuvre de méthodes de calcul et de représentation graphique (obtention de graphiques, de modèles numériques, de valeurs de paramètres). A l'expérimental est donc substitué l'instrumental, tandis qu'au quantitatif est substitué le numérique. Instrumental et numérique constituent donc à notre avis les deux invariants de la transposition. On comprend dans ce cadre que « l'ordinateur, outil de laboratoire » ait trouvé une niche écologique particulièrement propice et ce d'autant plus que, comme nous l'avons indiqué, l'ordinateur (tout comme l'oscilloscope), est un instrument non transposé⁶, donc authentique.

Comme nous l'avons souligné au départ, notre étude, qui porte sur un faible nombre de situations, ne permet pas d'affirmer la généralité de nos propos. Mais les résultats que nous avons obtenus viennent éclairer une connaissance diffuse, et montrent à notre avis une caractéristique de premier plan qui est à verser au débat sur la nature des activités expérimentales (réplication de science ?) et sur leur rôle en tant que ressources pour l'apprentissage des sciences (apprentissage par investigation, acquisition de connaissances scientifiques ou simple, mais nécessaire, motivation ?) (Gil-Perez, 1993 ; Jenkins, 1999). Ces résultats constituent donc la base d'investigations didactiques à poursuivre.

BIBLIOGRAPHIE

AYÇAGUER-RICHOUX H. (2000). Rôles des expériences quantitatives dans l'enseignement de la physique au lycée. Thèse : didactique de la physique, Paris 7.

BEAUFILS D. (1991). *L'ordinateur outil de laboratoire dans l'enseignement des sciences physiques : propositions pour la construction d'activités : première analyse des difficultés et des compétences requises chez les élèves du lycée*. Thèse : didactique de la physique, Paris 7.

(6) Pour la problématique de la transposition des instruments, voir par exemple Calmettes, 1997.

- BEAUFILS D. (1999). « Quelques éléments de réflexion à propos des exercices à caractère expérimental ». In *Diversification de l'évaluation en sciences expérimentales*. Caen : CRDP.
- BEAUFILS D., RICHOUX H. & CAMGUILHEM C. (1999). Savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation d'instruments informatisés dans des activités de travaux pratiques de physique. *Aster*, n° 28, p. 131-147.
- BECU-ROBINAULT K. (1997). *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*. Thèse : didactique de la physique, Lyon 1.
- BLANCHET A. & GOTMAN A. (1996). *L'enquête et ses méthodes : l'entretien*. Paris : Nathan.
- CALMETTES B. (1997). Transposition didactique, une étude de cas en physique appliquée. In *Actes du 6^e séminaire national de recherche en didactique de la physique, chimie et de la technologie*. Lyon : LIRDHIST, p. 43-57.
- CHEVALLARD Y. (1991). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- CHINN C. A. & MALHOTRA B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: a theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, vol. 86, p. 175-218.
- De KETELE J.-M. & ROEGIERS X. (1991). *Méthodologie du recueil d'informations*. Bruxelles : De Boeck.
- DESAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1996). "About the epistemological posture of science teachers". In A. Tiberghien, E. Jossem & J. Barojas. *Connecting Research Physics Education with Teachers Education*. Ohio-state University : International commission on physics education.
- DUGGAN S. & GOTT R. (1995). The place of investigation in practical work in the UK national curriculum for science. *International journal of science education*, vol. 2, n° 17, p. 137-148.
- DUREY A. & MARTINAND J.-L. (1992). « Un analyseur pour la transposition didactique entre pratiques de références et activités scolaires ». In G. Arsac *et al.* *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble : La Pensée sauvage, p. 73-104.
- FAIRBROTHER R., HACKLING M. & COWAN E. (1997). Is this the right answer ? *International journal of science education*, vol. 19, n° 8, p. 887-894.
- France : ministère de l'Éducation nationale (1992). *Nouveaux Programmes des classes de Seconde, Première et Terminale de lycée*. Hors série n° 7 du Bulletin officiel du 24 septembre 1992.
- France : ministère de l'Éducation nationale (1999). *Programmes des lycées*. Hors-série n° 7 du Bulletin officiel du 12 août 1992.
- France : ministère de l'Éducation nationale (2000). *Programmes des lycées*. Hors-série n° 7 du Bulletin officiel du 31 août 2000.
- France : ministère de l'Éducation nationale (2001). *L'enseignement des sciences au lycée*. Hors série n° 2 du Bulletin officiel du 30 août 2001.
- France : ministère de l'Éducation nationale : Inspection générale (1996). *La place de l'expérimental dans l'enseignement de la physique et de la chimie*. Éducation nationale - groupe de physique et chimie (diffusion MENRT).
- GIL-PEREZ D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *Aster*, n° 17, p. 41-64.
- GIL-PEREZ D. & PESSOA de CARVALHO A. M. (1996). "Physics teacher training: analysis and proposals". In A. Tiberghien, L. Jossem & J. Barojas. *Connecting Research in Physics Education with Teachers Education*. Ohio-state University : International commission on physics education.
- GUILLON A. (1995). Démarches scientifiques en travaux pratiques de physique de DEUG à l'université de Cergy-Pontoise. *Didaskalia*, n° 7, p. 113-127.
- GUILLON A. (1996). *Étude épistémologique et didactique de l'activité expérimentale en vue de l'enseignement et de l'apprentissage des démarches du physicien, dans le cadre des travaux pratiques de première et deuxième années d'université*. Thèse : UFR Sciences, Paris 11.

- GUILLON A. & SÉRÉ M.-G. (2002). "The Role of Epistemological Information in Open-ended Investigative Labwork." In D. Psillos & H. Niedderer. *Teaching and learning in the science laboratory*. Dordrecht : Kluwer.
- HASLAM F. & GUNSTONE R. (1998). The influence of teachers on student observation in science classes. In *Annual Meeting of the National Association for research in Science teaching*, San Diego.
- INRP : LIREST (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- JENKINS E. W. (1999). "Practical work in School Science: some questions to be answered". In J. LEACH & A. PAULSEN. *Practical work in science education: recent research studies*. Roskilde : Roskilde university press, p. 19-32.
- JOHNSA S. & DUPIN J. -J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.
- LAKIN S. & WELLINGTON J. (1994). Qui enseignera l'épistémologie des sciences ? Conceptions d'enseignants sur la science et conséquences pour l'enseignement des sciences. *Aster*, n° 19, p.175-193.
- LEACH J. (1999). "Learning science in the laboratory: the importance of epistemological understanding". In J. LEACH & A. PAULSEN. *Practical work in science education: recent research studies*. Roskilde : Roskilde university press, p. 134-147.
- MARTINAND J.-L. (1982). *Contribution à la caractérisation des objectifs de l'initiation aux sciences et techniques*. Thèse : sciences de l'éducation, Paris 9.
- MILOT M.-C. & BEAUFILS D. (1999). « Des savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation d'instruments informatisés en physique-chimie ». In *Activités expérimentales des élèves en physique-chimie : quels enjeux d'apprentissage ?* Caen : CRDP, p. 117-140.
- NOTT M. & SMITH R. (1995). "Talking your way out of it", "rigging and conjuring": what science teachers do when practicals go wrong. *International journal of scientific education*, vol. 17, n° 3, p. 399-410.
- NTOMBELA G. M. (1999). "A marriage of inconvenience? School science practical work and the nature of science." In J. LEACH & A. PAULSEN. *Practical work in science education: recent research studies*. Roskilde : Roskilde university press, p. 118-133.
- PORLAN ARIZA R. RIVERO GARCIA A. & MARTIN DEL POZO R. (2000). "El conocimiento del profesorado sobre la ciencia, su enseñanza y aprendizaje". In F. J. Perales Palacio, P. Canal de Leon. *Didáctica de las ciencias experimentales*. Alcoy : Marfil, p. 507-533.
- RICHOUX H. (1998). Quels sont les rôles des expériences quantitatives dans l'enseignement de la physique au lycée ? In *Actes du 6^e séminaire national de recherche en didactique de la physique, de la chimie et de la technologie*. Lyon : LIRDHIST, p. 243-249.
- RICHOUX H. & BEAUFILS D. (2003). La planificación de las actividades de los estudiantes en los trabajos prácticos de física: análisis de prácticas de profesores (*planification des activités des élèves en travaux pratiques : analyse de pratiques des enseignants*) *Enseñanza de las ciencias*, vol. 21, n° 1, p. 95-106.
- ROBARDET G. (1995). *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*. Thèse : didactique des sciences, Grenoble.
- ROGALSKI J. & SAMURÇAY R. (1994). « Modélisation d'un « savoir de référence » et transposition didactique dans la formation de professionnels de haut niveau. » In G. Arsac *et al.* *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble : La Pensée sauvage, p. 35-71.
- ROLETTO E. (1998). La science et les connaissances scientifiques : point de vue de futurs enseignants. *Aster*, n° 26, p. 11-30.
- SÉRÉ M.-G. (1998). *Improving science education: issues and research on innovative empirical and computer-based approaches to labwork in Europe, final report*. Brussels : European Commission, DG XII, TSER programme.

SÉRÉ M.-G., JOURNEAUX R. & WINTHER J. (1998). Enquête sur la pratique des enseignants dans le domaine des incertitudes. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 801, p. 241-254.

TIBERGHEN A. (1989). Transposition didactique, cas de la physique. In *La transposition didactique en mathématique, physique et biologie*. Lyon : LIRDHIST, p. 37-57.

TRIGEASSOU J.-C. (1988). *Recherche de modèles expérimentaux assistée par ordinateur*. Paris : Technique et documentation ; Toulouse : Langage et informatique.

VAN DRIEL J. H. & VERLOOP N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International journal of science Education*, vol. 21, n° 11, p.1141-1153.

ANNEXE 1 : GRILLE POUR LES ENTRETIENS PRÉLABLES

- Q1. Les objectifs d'apprentissage que l'enseignant assigne à ce TP
- Selon les fiches étudiées des objectifs pour la séance peuvent être annoncés (parfois nombreux) ou pas. Cette question propose donc à l'enseignant de définir les objectifs prioritaires pour le TP.
- Q2. La place du TP dans la progression
- Comment s'inscrit ce TP dans le programme ?
 - Quelle place occupe-t-il dans la progression ? Avant le cours ? Après le cours ? Quelle est alors sa fonction dans la progression ?
- Q3. Les activités des élèves et les résultats attendus
- Décrire les activités des élèves qui sont programmées.
 - Indiquer les connaissances théoriques des élèves (supposées acquises) qui interviennent.
 - Préciser les connaissances de savoir-faire des élèves qui sont prises en compte dans ce TP.
 - Décrire les résultats attendus.
- Q4. La prise en compte de l'apprentissage
- Quelles sont les difficultés attendues ?
- Q5. La démarche expérimentale mise en œuvre
- Quelle est la démarche choisie (vérification d'une « loi », comparaison à un modèle, recherche d'une relation de dépendance, description mathématique, ...) ?
 - Quels sont les choix des conditions expérimentales pour les mesures (montages, paramètres, appareils de mesure, ...) ?
 - Quels sont les résultats attendus ? Allure satisfaisante pour la courbe, vérification « à l'œil », écart relatif, ... ?
 - Quels sont critères pour juger que les résultats obtenus par les élèves sont satisfaisants ?
 - Quelles sont difficultés attendues ?
 - Si des moyens informatisés sont utilisés, qu'est-ce qui justifie leur emploi ? Quels avantages et quels inconvénients apportent-ils ?
- Q6. Le déroulement prévu
- Les élèves découvrent-ils l'activité ou étaient-ils avertis et avaient-ils à la préparer (cours à apprendre, ...) ?
 - Les élèves peuvent-ils travailler avec les documents ?
 - Quelles sont les interventions communes prévues, les interventions auprès des groupes ? De quels groupes particuliers s'agit-il, sur quel sujet, pour quelle activité ?
 - Quels sont les contrôles prévus des activités pendant le TP ?
 - La mise en commun de résultats est-elle prévue dans la séquence ou le travail est-il fait exclusivement par groupe de 2 ?
 - Quelle est la prévision de durée des différentes activités ?
 - Quelle est la partie du travail qui doit être traitée par tous ? Y a-t-il des questions supplémentaires prévues pour les plus rapides ?

<p>Q7. L'évaluation du travail des élèves</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le travail expérimental est-il évalué ? Le compte-rendu est-il évalué ? Sur quelle partie ? • Quels sont les critères pour la notation ? <p>Q8. Les sources utilisées par l'enseignant pour élaborer le TP</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le TP a-t-il déjà été fait plusieurs fois ? A-t-il été modifié ? Où ? Pourquoi ? • Le TP a-t-il été préparé à plusieurs ? Y a-t-il eu un compromis sur les démarches ? • Si le TP est nouveau : quelles sont les sources utilisées ? Quelles sont les modifications apportées à la version originale ?
--

ANNEXE 2 : GRILLE POUR L'ENTRETIEN DE SYNTHÈSE

Liste des objectifs présentée aux enseignants

<p>Objectifs des TP</p> <p>Liste d'objectifs de TP sélectionnés dans des textes de l'Inspection Générale, dans des articles sur les TP :</p> <ul style="list-style-type: none"> • mettre en évidence un phénomène ; • prédire un résultat, un phénomène ; • vérifier une loi ; • tester un modèle (validité, limites) ; • prendre conscience, grâce à une pratique réfléchie, des questions relatives à la mesure, à la précision de la mesure, au sens à donner aux résultats d'un mesurage ; • acquérir la connaissance d'ordres de grandeur ; • s'initier, dans des situations concrètes, à la démarche expérimentale : formuler une hypothèse, élaborer un protocole permettant de la tester, mettre en œuvre un protocole expérimental, analyser les résultats, tirer les conclusions (tout ou partie).
--

Grille pour l'entretien de synthèse (extrait)

<i>Faites-vous faire à vos élèves un ou plusieurs TP qui correspondrait à chacun des objectifs de la liste ? Décrivez un exemple.</i>
<i>Certains objectifs ne sont-ils jamais visés ? lesquels ? pourquoi ?</i>
<i>Certains objectifs sont -ils souvent, régulièrement visés ? lesquels ? pourquoi ?</i>
<i>Quels objectifs trouvez-vous particulièrement importants pour des élèves scientifiques ?</i>
<i>Y a-t-il d'autres objectifs importants, spécifiques aux TP qui ne sont pas cités ?</i>
<i>Par exemple : "Aider à apprendre de nouvelles connaissances ?" (proposer éventuellement)</i>
<i>Comment choisissez-vous les expériences pour aider les élèves à apprendre ? Les aider à conceptualiser ?</i>
<i>Comment choisissez-vous les activités pour aider les élèves à apprendre ?</i>
<i>Pourquoi peu ou pas de TP qualitatifs ? (éventuellement) quelles difficultés particulières présentent-ils ? quels intérêts ?</i>
<i>Qu'est-ce qui est particulièrement intéressant pour les élèves dans les activités de prise de mesure et d'exploitation ?</i>
<i>Pour l'enseignant ?</i>

ANNEXE 3 : GRILLE D'ANALYSE ET CODE DES ITEMS

				Code
Planification	Planification globale	Place du TP par rapport au programme		Pg1
		Place du TP dans la progression du cours		Pg2
	Planification interne au TP	Organisation de la séance		Pi1
		Activités des élèves	Montage et mesures	Pi2
			Traitement	Pi3
			Analyse, discussion	Pi4
			Autres	Pi5
		Productions des élèves		Pi6
Activité de l'enseignant		Pi7		

Raisons	Raisons d'entreprise	Contraintes institutionnelles (programmes, durée...)		Re1	
		Moyens matériels (disponibilité, qualité...)		Re2	
		Articulation TP / cours		Re3	
	Raisons d'enseignement	Enseignement de connaissances	Enseignement de connaissances		Rd1
			Enseignement de savoir-faire		Rd2
			Enseignement d'une démarche		Rd3
			Prise en compte des difficultés des élèves, de l'apprentissage de la physique		Rd4
			Construction d'un référent		Rd5
			Choix propres pour l'enseignement en physique		Rd6
			Gestion de l'activité	Élèves actifs	Rp1
		Enseignant disponible		Rp2	
		Élèves autonomes		Rp3	
		Objectifs généraux de l'enseignement	Incertitudes, difficultés pour l'enseignant	Rp4a (matériel)	
			Rp4b (élèves)		
		Objectifs généraux de l'enseignement		Rp5	
	Autres		Rp6		