

Recherches sur la communication et l'apprentissage des sciences et des techniques

27

Décembre 2005

© INRP, 2005

ISBN 2-7342-1030-4 • Réf. RD 027

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des paragraphes 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « *copies et reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective* » et, d'autre part, sous réserve de mention du nom de l'auteur et de la source, que « *les analyses et les courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information* », « *toute représentation ou reproduction totale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite* » (article L. 122-4). Une telle représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Comité de rédaction

Co-éditrices

- Barbara BADER
Professeure
université Laval
Québec, Canada
- Martine MÉHEUT
professeure,
IUFM de Créteil / LDSP
université Denis-Diderot
Paris, France
- Cécile VANDER BORGHT
professeure,
université catholique de Louvain
Belgique

Rédacteur en chef

- Alain DUMON
Professeur IUFM d'Aquitaine,
Pau, France

Secrétaires de rédaction

- Christophe DRIVER
Catherine NALLET
INRP
Lyon, France

Membres

- Maurice CHASTRETTE, professeur,
université Lyon 1, France
- Jean-Louis CLOSSET, professeur, faculté des
sciences agronomiques, Gembloux, Belgique
- Jacques COLOMB, directeur du département
« Didactiques des disciplines », INRP/Paris 7
- Jacques DÉSAUTELS, professeur,
université Laval, Québec, Canada
- Daniel JACOBI, professeur,
université d'Avignon, France
- Laurence VIENNOT, professeur,
université Denis-Diderot, Paris, France

Comité de parrainage

- Françoise BALIBAR, professeur,
université Denis-Diderot, Paris, France
- Thierry BOON, professeur,
université catholique de Louvain, Belgique
- John HARROD, professeur, université Mc Gill,
Montréal, Canada
- Pierre LÉNA, membre de l'Académie des
sciences, professeur, université Denis-Diderot,
Paris, France
- Georges LESPINARD, président de l'Institut
national polytechnique de Grenoble, France
- Gilbert PAQUETTE, professeur
à la téléuniversité, Montréal, Canada

Société Française de Physique : correspondant

Dominique LE QUÉAU, directeur de recherche CNRS, CESR Toulouse, France

Correspondants pour l'Afrique

- Zaïm IDRISSE, professeur, ENS, Rabat-Takaddoum, Maroc
- Valdiodio NDIAYE, professeur, ENS, Dakar, Sénégal

Correspondants pour l'Amérique latine

- Alfredo ROBLES, professeur UCV-UNA - Caracas, Venezuela
- Miriam QUINTANA DE ROBLES, UPEL, IPM, « J.M. Siso Martinez », Caracas, Venezuela

Comité de lecture voir page suivante

Directeur de la publication

Emmanuel FRAISSE, directeur de l'INRP

INRP, 19 allée de Fontenay • BP 17424 • 69397 LYON CEDEX 07, FRANCE

Tél. 04 72 76 61 58 • www.inrp.fr

Comité de lecture

Allemagne

- R. DUIT, IPN, Kiel
- W. SCHNEIDER, Physik Institut, Erlangen

Belgique

- A.M. HUYNEN, université de Louvain
- G. FOUREZ, université de Namur

Brésil

- U. D'AMBROSIO, université de Campinas
- A.-M. PESSOA DE CARVALHO, université de São Paulo

Canada

- G. AIKENHEAD, University of Saskatchewan
- W. BOCK, université du Québec à Hull
- Y. GINGRAS, université du Québec à Montréal
- B. LAPLANTE, University of Saskatchewan
- M. LAROCHELLE, université Laval
- S. NORRIS, Memorial University of Newfoundland
- D. ROULEAU, collège de Lévis-Lauzon
- F. RUEL, université de Sherbrooke
- L. SAUVÉ, CIRADE, université du Québec à Montréal
- B. SCHIELE, université du Québec à Montréal
- G. THIBERT, université de Montréal
- J.-C. VACHON, université du Québec à Chicoutimi

Espagne

- R. BORLAN, université de Séville
- M.-P. JIMENES-ALEIXANDRE, université de Santiago de Compostelle
- R. PINTO, université de Barcelone

États-Unis

- E.F. REDISH, université de Maryland
- L. RESNICK, LRDC, université de Pittsburg

France

- R. AMIGUES, université de Provence
- J.-P. ASTOLFI, université de Rouen
- E. BRUILLARD, IUFM, Créteil
- M. CAILLOT, université Paris 5
- M. COQUIDÉ, LIREST, Cachan

- D. CROS, université Montpellier 2
- M. DEVELAY, université Lyon 2
- J.-J. DUPIN, IUFM, Aix-Marseille
- J.-M. DUSSEAU, IUFM, Montpellier
- G. JACQUINOT, université Paris 8
- C. LARCHER, INRP
- J.-F. LE MARÉCHAL, ENS, Lyon
- J.-L. MARTINAND, ENS, Cachan
- A. MERCIER, INRP
- E. SALTIEL, INRP
- J. TOUSSAINT, IUFM, Lyon
- A. VÉRIN, INRP
- A.WEIL-BARAIS, université Paris 8

Grande-Bretagne

- R. MILLAR, université d'York
- J. OGBORN, université de Londres
- N. RYDER, King's College, Londres
- J. SOLOMON, Oxford University
- C. SUTTON, University of Leicester

Hollande

- H.M.C. EIJKELHOF, université d'Utrecht

Israël

- A. DREYFUS, Hebrew University of Jerusalem
- S. STRAUSS, Tel Aviv University

Italie

- A. BARGELLINI, université de Pise
- L. BORGHI, université de Pavie
- S. CARAVITA, Istituto de psicologia de CNR, Roma
- P. GUIDONI, université de Naples
- M. MAYER, CEDE, Rome
- E. SASSI, université de Naples

Mexique

- J. BAROJAS, université de Mexico

Suisse

- A. GIORDAN, université de Genève
 - A.-N. PERRET-CLERMONT, université de Neuchâtel
 - M.-L. SCHUBAUER-LEONI, université de Genève
-

Éditorial.....	9
----------------	---

ARTICLES DE RECHERCHE

H. Richoux et D. Beaufils <i>Conception de travaux pratiques par les enseignants : analyse de quelques exemples de physique en termes de transposition didactique</i>	11
N. Coppens et V. Munier <i>Évaluation d'un outil méthodologique, le « double QCM », pour le recueil de conceptions et l'analyse de raisonnements en physique</i>	41
L. Simonneaux et J. Simonneaux <i>Argumentation sur des questions socio-scientifiques</i>	79

COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

É. Baldy et F. Aubert <i>Étude de l'apprentissage du phénomène physique de la chute des corps en classe de troisième française</i>	109
Z. Smyrniou et A. Weil-Barais <i>Évaluation cognitive d'un logiciel de modélisation auprès d'élèves de collège</i>	133

NOTES DE LECTURE	151
-------------------------------	-----

ACTUALITÉ DES COLLOQUES	157
--------------------------------------	-----

SUMMARY

Editorial	9
------------------------	---

RESEARCH ARTICLES

H. Richoux and D. Beaufiles <i>Preparation of Hands-On Experimental Activities for Pupils: A Few Case Studies of Learning by Transfer in Physics Class</i>	11
N. Coppens and V. Munier <i>Monitoring Student Progress in Physics Using Double Multiple-Choice Questions</i>	41
L. Simonneaux and J. Simonneaux <i>Argumentation on socioscientific issues</i>	79

REPORTS OF INNOVATIONS

É. Baldy and F. Aubert <i>Phenomenon of falling in French grade 9</i>	109
Z. Smyrniou and A. Weil-Barais <i>A Cognitive Analysis of Simulation Software Used by 13-15 Year Old Pupils</i>	133

BOOK REVIEWS	151
---------------------------	-----

CONFERENCE ANNOUNCEMENTS	157
---------------------------------------	-----

Éditorial

Didaskalia évolue... aussi bien au niveau de l'équipe de rédaction que de la politique éditoriale.

Jean-Michel Dusseau, rédacteur en chef depuis cinq ans, a souhaité passer la main afin de maintenir la dynamique de la revue. Qu'il soit ici remercié pour le travail fourni au service de la qualité scientifique de *Didaskalia*. Bernadette Pateyron, secrétaire de rédaction de *Didaskalia* depuis 1997, jouit maintenant d'une retraite bien méritée. Jean-Michel dit le plaisir qu'il a eu à travailler avec elle et la remercie pour sa disponibilité, son implication et son souci du détail traduisant un désir de perfection pour notre revue. À la nouvelle équipe, constituée de Alain Dumon (rédacteur en chef), Catherine Nallet et Christophe Driver (secrétaires de rédaction), de faire maintenant ses preuves. Elle s'engage à travailler dans la continuité en ce qui concerne la qualité de la revue et avec le désir d'évoluer dans le traitement des articles. La note aux auteurs du prochain numéro précisera cette évolution.

Concernant la politique éditoriale, les comités de rédaction et de direction ont décidé d'abandonner les numéros à thème en vue de faire de *Didaskalia* la revue francophone de l'actualité de la recherche en didactique des sciences et des techniques. Nous attendons des articles de recherche en didactique ou en diffusion des sciences et des techniques, des points de vue, des comptes-rendus d'innovation ainsi que des notes de synthèse, ces dernières sur des thèmes particuliers. À vos traitements de texte et merci de choisir notre revue pour publier vos travaux.

J.-M. Dusseau et A. Dumon



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 « phénoménoteknik »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).

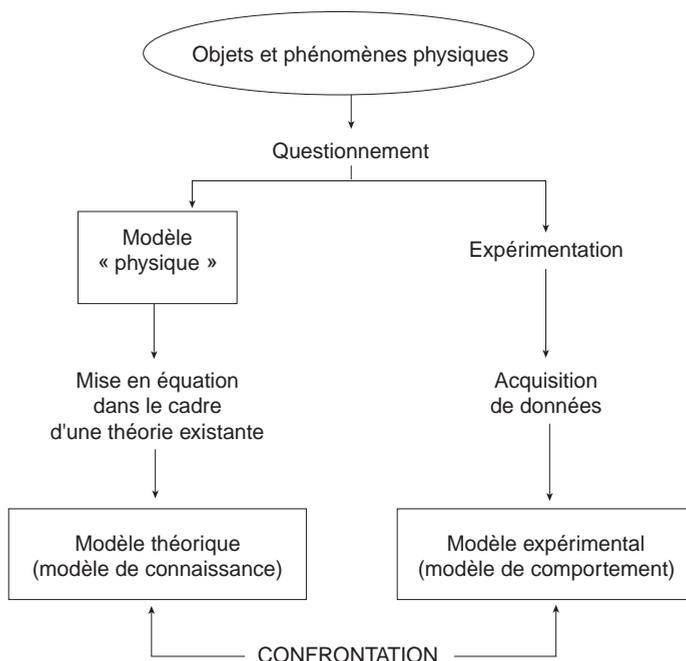


Figure 1 • Démarches du physicien
(d'après le schéma synoptique d'A. Guillon, 1995, p. 116)

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 100Ω ;
- 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 100Ω 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.

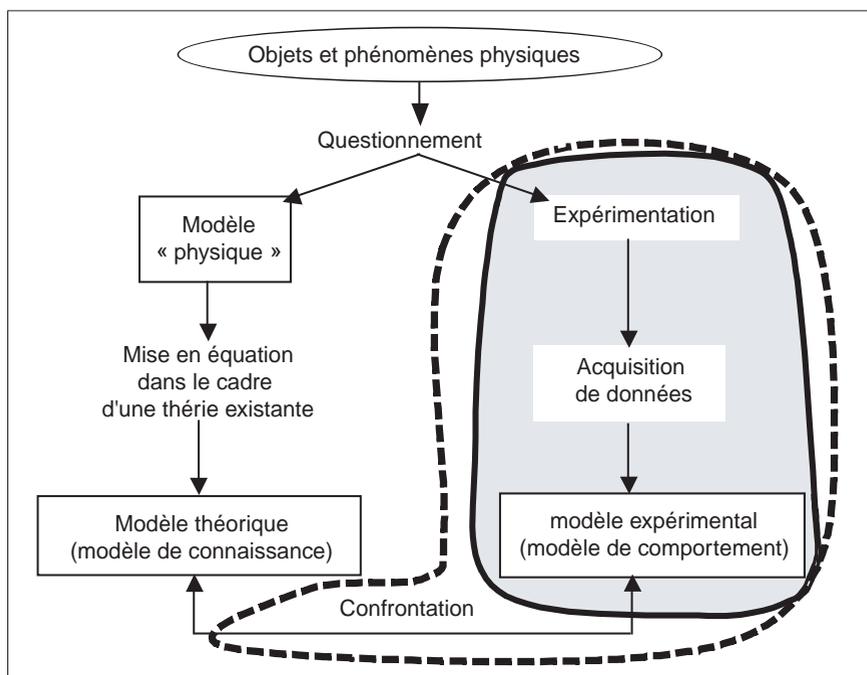


Figure 2 • La double limitation des démarches dans les pratiques scolaires observées

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		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
			Incertitudes, difficultés pour l'enseignant	Rp4a (matériel) Rp4b (élèves)
	Objectifs généraux de l'enseignement		Rp5	
	Autres		Rp6	

Évaluation d'un outil méthodologique, le « double QCM », pour le recueil de conceptions et l'analyse de raisonnements en physique

Monitoring Student Progress in Physics Using Double Multiple-Choice Questions

Evaluation eines methodologischen Werkzeugs, des doppelten Multiple-Choice-Fragebogens, für das Zusammentragen von Auffassungen und die Analyse von logischen Gedankengängen in Physik

Evaluación de un instrumento metodológico, el « doble test », para el recogimiento de concepciones y el análisis de racionamientos en clase de ciencias físicas

**Nicolas Coppens
et Valérie Munier¹**

Laboratoire de didactique
des sciences physiques,
université Paris 7

LDSP, CC 7086,
université Paris 7,
2 place Jussieu,
75251 Paris cedex 5.

(1) adresse actuelle : IUFM de Montpellier, 2 place Marcel-Godechot BP 4152, 34092, Montpellier cedex 5

Résumé

Dans le cadre d'un suivi du DEUG mis en place à l'université Paris 7, un nouvel outil méthodologique de recueil de conceptions et raisonnements en physique a été élaboré afin de permettre une étude à grande échelle. Il s'agit d'un double QCM dans lequel les étudiants doivent non seulement choisir une réponse parmi celles qui leur sont proposées mais aussi choisir de la même façon la justification qui leur semble la plus pertinente. L'objet de cette recherche est d'évaluer cet outil et de déterminer dans quelle mesure ce type de formulation influe sur les réponses des étudiants. Une étude préliminaire a montré que certains facteurs semblaient « aider » les étudiants lorsque le questionnaire est proposé sous forme de double QCM, c'est-à-dire que les taux de bonnes réponses obtenus sous cette forme sont supérieurs à ceux obtenus avec des questions ouvertes, alors que d'autres facteurs semblent les « gêner ». Ces différents facteurs ont ensuite été testés indépendamment et nous avons montré que deux facteurs influencent de façon significative les résultats d'un double QCM. Il s'agit de la présence ou de l'absence d'un distracteur très attractif ainsi que de la « force » de « l'association » entre les réponses et les justifications. Nous avons pour finir envisagé les implications pratiques de ces résultats, tant du point de vue de problématiques d'évaluation à grande échelle que du point de vue de certaines recherches en didactique.

Mots clefs : *méthodologie, évaluation, physique, 1^{er} cycle universitaire, QCM.*

Abstract

Paris-7 University has recently developed a new methodological tool designed to evaluate student progress in physics during their second year of studies which should allow for a larger-scale study of student understanding and reasoning in the discipline. It consists of a series of double multiple-choice-questions (DMCQ) in which students are first asked to choose from a series of answers. They are then obliged to justify their choice from a series of explanations. The aim was to assess the effectiveness of the DMCQ and determine its influence on student decisions. A preliminary study showed that certain factors inherent to this type of evaluation seemed to help students in finding the right answer whereas others were a source of confusion. Research was thus carried out on the individual factors leading to the isolation of two influential variables on student responses: firstly, the presence of an eye-catching alternative answer amongst the choices and secondly, a high degree of association between answer and justification. Practical uses based upon the results were also envisaged: that of larger-scale evaluations and that of didactics research.

Key words: *methodology, testing, physical, undergraduate programme, multiple-choice questions (MCQ).*

Zusammenfassung:

Ein neues methodologisches Werkzeug wurde geschaffen, um die Fortschritte der Studenten in Physik während ihrer ersten beiden Studienjahre an der Universität Paris 7 zu evaluieren. Dieses Werkzeug sollte eine breit angelegte Untersuchung von den Auffassungen und den logischen Gedankengängen der Studenten in Physik ermöglichen. Es handelt sich um einen doppelten Multiple-Choice-Fragebogen, in dem die Studenten nicht nur eine Antwort unter denjenigen, die ihnen vorgeschlagen wurden, wählen müssen, sondern auch auf dieselbe Art die Rechtfertigung aussuchen müssen, die ihnen die treffendste zu sein scheint. Der Zweck dieser Untersuchung ist, dieses Werkzeug zu bewerten und zu bestimmen, inwiefern dieser Formulierungstyp die Antworten der Studenten beeinflusst. Eine vorbereitende Studie hat gezeigt, dass einige Faktoren den Studenten zu „helfen“ schienen, wenn der Fragebogen in Form eines doppelten Multiple-Choice-Fragebogens vorgeschlagen wird, das heißt es hat sich herausgestellt, dass die Raten an mit dieser Form des Fragebogens erzielten richtigen Antworten höher sind als die mit offenen Fragen erzielten Raten, während andere Faktoren sie zu „stören“ schienen. Diese verschiedenen Faktoren wurden dann unabhängig voneinander getestet und wir haben gezeigt, dass zwei Faktoren die Ergebnisse eines doppelten Multiple-Choice-Fragebogens auf eine bedeutsame Weise beeinflussen. Es handelt sich um die Gegenwart oder die Abwesenheit eines besonders verlockenden Distraktors, sowie um die „Kraft“ der „Assoziation“ zwischen Antworten und Rechtfertigungen. Zum Schluss haben wir die praktischen Auswirkungen dieser Ergebnisse in Erwägung gezogen, sowohl hinsichtlich der Problemstellungen bei breit angelegten Evaluationen, als auch hinsichtlich bestimmter Didaktikforschungen.

Schlüsselwörter: *Methodologie, Evaluation, Physik, Grundstudium an der Universität, Multiple-Choice-Fragebogen.*

Resumen

En el ámbito de un seguimiento del Diploma Universitario de Estudios Generales francés (DEUG) organizado en la universidad de Paris 7, se ha elaborado un nuevo instrumento metodológico de recogida de concepciones y de razonamientos en ciencias físicas en vista de permitir un estudio a gran escala. Se trata de un doble cuestionario de respuestas múltiples o test en el cual los estudiantes deben no solamente elegir una respuesta entre las que se les propone sino también, con el mismo método, la justificación que les parece más pertinente.

El objeto de esta investigación es evaluar este instrumento y determinar en que medida este tipo de formulación influye en las respuestas de los estudiantes. Un estudio preliminar ha mostrado que ciertos factores parecían «

ayudar » a los estudiantes cuando el cuestionario se propone bajo la forma de doble test es decir que los porcentajes de respuestas correctas obtenidos bajo esta forma son superiores a aquellos obtenidos con preguntas abiertas pero que otros factores parecen « dificultar » su trabajo. Los diferentes factores se probaron luego independientemente y hemos demostrado que dos factores influyen de manera significativa en los resultados de un test doble. Se trata de la presencia o de la ausencia de un elemento de distracción muy atractivo así como de la « fuerza » de « la asociación » entre las respuestas y las justificaciones. Por último hemos examinado las implicaciones prácticas de estos resultados, tanto del punto de vista de problemáticas de evaluaciones a gran escala como del punto de vista de ciertas investigaciones en didáctica.

Palabras clave : metodología - evaluación - ciencias físicas - primer ciclo universitario - test.

CONTEXTE

En 2001-2002, face aux problèmes de désaffection et de démotivation des étudiants en physique, l'UFR¹ de physique de Paris 7 a apporté différentes modifications au programme et à l'organisation de l'enseignement en première année de DEUG SM et MIAS². À la demande de la direction de l'UFR de physique, le laboratoire de didactique des sciences physiques étudie depuis la rentrée 2001 l'influence de ces modifications. Cette étude comporte plusieurs volets, en particulier une analyse de l'évolution de certaines connaissances et compétences des étudiants au cours du DEUG.

Pour pouvoir effectuer un suivi des raisonnements des étudiants à grande échelle, nous avons été amenés à élaborer de nouveaux outils méthodologiques. Un des outils d'évaluation élaboré et mis en œuvre pour ce suivi est un questionnaire présenté sous la forme d'un double QCM³ (Treaguts, 1988 ; Tamir, 1989 ; Millar et Hames, 2001) : les étudiants doivent non seulement choisir une réponse parmi plusieurs qui leur sont proposées, mais aussi choisir dans une liste de raisonnements associés ceux qui leur semblent les plus pertinents (exemple figure 1). Les réponses proposées et les raisonnements associés ont été établis sur la base de différents travaux de didactique (Besson, 2001 ; Fawaz et Viennot, 1986 ; Kariotoglou *et al.*, 1995 ; Viard, 1990 ; Viennot, 1996), et les justifications erronées correspondent toutes à des raisonnements communs d'étudiants.

(1) Le sigle UFR signifie Unité de formation et de recherche

(2) Le sigle DEUG signifie Diplôme d'études universitaires générales, SM signifie sciences de la matière et MIAS signifie mathématiques, informatique et applications aux sciences.

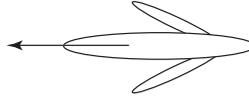
(3) QCM signifie Questionnaire à choix multiples.

Question m6

Un avion vole horizontalement à vitesse constante dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Les forces de frottement exercées sur l'avion sont assimilables à une seule force horizontale représentée ci-dessous :

La composante horizontale de la poussée des réacteurs est (en module) :

- plus grande que la force de frottement
- égale à la force de frottement (*bonne réponse : BR*)
- inférieure à la force de frottement
- je ne sais pas



Comment expliqueriez-vous votre réponse ?

- Si elle n'est pas plus grande, l'avion ne peut pas avancer.
- Pour qu'il vole à vitesse constante, il faut que la somme des forces soit nulle. (*bonne justification : BJ*)
- Si la résultante des forces était nulle, l'avion ferait du « sur-place ».
- Autre :

Figure 1

La case « je ne sais pas » permet de distinguer un étudiant qui n'a pas su répondre à la question d'un étudiant qui ne l'a pas traitée, et la case « Autre » a une double fonction pour nous ici. D'une part, elle offre la possibilité de répondre à ceux que la liste de justifications proposées ne satisfait pas ; d'autre part, elle peut nous permettre de repérer des justifications « manquantes » qu'il sera possible de rajouter dans une version « améliorée » du questionnaire.

Ce double QCM permet, a priori, d'obtenir rapidement des informations sur les conceptions et raisonnements des étudiants plus complètes qu'un QCM traditionnel (demandant uniquement une réponse sans justification), pour ensuite analyser leur évolution. Cependant, pour que cette analyse ait un sens, il est nécessaire de s'interroger sur la *validité des résultats obtenus à l'aide de ce type de questionnaire*. L'objectif de la recherche présentée ici est précisément *d'analyser cet outil méthodologique* : il s'agit d'évaluer l'influence de cette forme de QCM sur les réponses des étudiants, c'est-à-dire de déterminer dans quelle mesure le fait de proposer des raisonnements influe sur ces réponses.

Cette analyse est d'autant plus importante que les enquêtes de ce type, à grande échelle, se développent à l'heure actuelle, que ce soit dans le cadre d'évaluations internationales comme l'enquête PISA par exemple (OCDE, 2004) ou au sein des universités françaises. La didactique, même si elle n'a pas pour fonction première de répondre à des demandes sociales d'évaluation telles que celles évoquées ici, nous semble avoir un rôle important à jouer dans de tels projets, par exemple en participant comme ici, ou comme dans les travaux de Millar et Hames (2001), à la mise au point

d'outils d'évaluation pertinents, prenant en compte les résultats de recherche en didactique établis depuis plusieurs dizaines d'années. De plus, outre cet aspect « utilitaire », nous allons voir dans quelle mesure l'outil « double QCM » peut être intéressant pour la recherche en didactique elle-même.

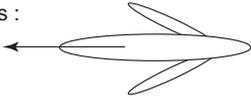
Dans une étude préliminaire nous avons comparé les résultats obtenus au double QCM proposé à l'université Paris 7 et ceux obtenus à l'aide d'un QCM homologué, mais avec « justifications ouvertes ». Cela nous a tout d'abord permis de constater des différences notables et d'émettre des hypothèses sur les facteurs pouvant être à l'origine de ces différences. Dans un deuxième temps nous avons mis en place une étude plus poussée de cet outil d'évaluation en élaborant un double QCM spécifique permettant de tester ces hypothèses.

1. ÉTUDE PRELIMINAIRE

1.1. Protocole expérimental

L'étude préliminaire a été réalisée en octobre 2002. Le questionnaire utilisé à l'université Paris 7 a été distribué auprès d'une centaine d'étudiants de 1^{re} année sous forme de double QCM (questionnaire B1 rempli par 113 étudiants, voir annexe 1). Un second questionnaire proposant les mêmes questions mais sans liste de justifications (on demande alors aux étudiants d'expliquer leur réponse de façon ouverte : exemple figure 2) a été soumis à un groupe équivalent (questionnaire A1 rempli par 95 étudiants). Les résultats du questionnaire A1 sont donc les résultats « témoin » permettant d'évaluer l'influence de la « forme » de double QCM du questionnaire B1.

Question m6
Un avion vole horizontalement à vitesse constante dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Les forces de frottement exercées sur l'avion sont assimilables à une seule force horizontale représentée ci-dessous :



La composante horizontale de la poussée des réacteurs est (en module) :

- plus grande que la force de frottement
- égale à la force de frottement (*bonne réponse : BR*)
- inférieure à la force de frottement
- je ne sais pas

Comment expliqueriez-vous votre réponse ?

Figure 2

Ces deux questionnaires ont été distribués en début d'année, en même temps, dans deux amphithéâtres correspondant à deux sections de DEUG SM équivalentes (sans sélection particulière), et remplis sur place. Les étudiants ont disposé d'environ une demi-heure pour y répondre, mais du temps supplémentaire leur était alloué s'ils le souhaitaient.

Les justifications données par les étudiants répondant au questionnaire A1 ont été catégorisées. Pour cela, nous avons repris les catégories du questionnaire B1 et nous en avons rajouté de nouvelles lorsque cela était nécessaire (seules les justifications citées par plus de 5 % des étudiants dans le questionnaire A1 ont fait l'objet d'une catégorie).

Nous avons ensuite comparé les résultats de ces deux questionnaires, avancé des hypothèses permettant d'expliquer les différences entre ces résultats, puis analysé les écarts observés. Nous avons effectué systématiquement des tests statistiques pour déterminer si les différences observées étaient significatives (test du χ^2 à 1 degré de liberté, niveau de signification 0,05). Ainsi, dans toute la suite de l'article, lorsque nous analysons les différences entre les pourcentages de bonnes réponses des étudiants aux deux questionnaires, nous indiquons entre parenthèses, pour chaque question, la valeur du χ^2 correspondante. Ce premier travail nous a ainsi permis d'identifier différents facteurs, liés à cette forme de QCM, pouvant influencer les réponses des étudiants.

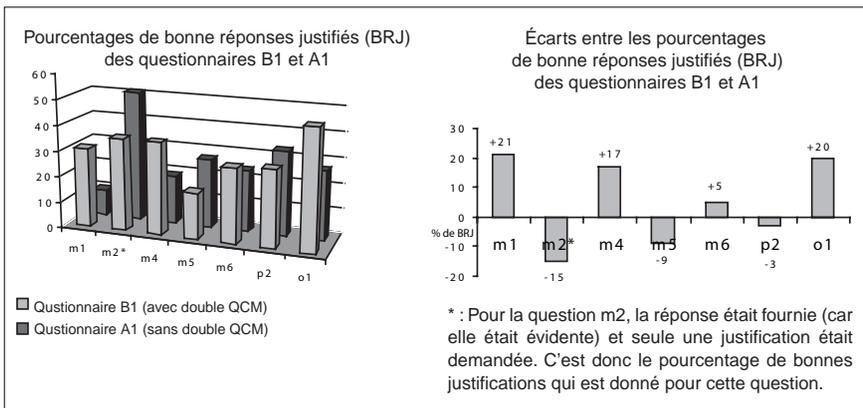
Pour les connaissances, les thèmes abordés dans ces questionnaires sont la mécanique (questions m1 à m6) et l'optique géométrique (question o1). Les questions portent sur des points traités au lycée, reconnus comme particulièrement délicats par différents travaux de didactique. Pour les compétences, nous nous sommes intéressés principalement à la maîtrise de certaines démarches expérimentales (questions p1 à p3).

1.2. Résultats

Pour la plupart des questions, nous avons analysé les pourcentages de bonnes réponses justifiées correctement (BRJ). Pour les questions m3, p1 et p3, aucune justification n'était demandée sous forme de double QCM car nous ne disposons pas d'études assez précises pour pouvoir anticiper les justifications d'étudiants de 1^{er} cycle universitaire (la question p3 est issue d'un manuel d'aide à l'évaluation des élèves du cycle 3 édité par le ministère de l'éducation nationale). Les pourcentages de bonnes réponses pour ces questions ne figurent donc pas dans les tableaux suivants (les résultats complets sont cependant donnés en annexe 4), mais les résultats de ces trois questions nous ont permis de vérifier qu'il n'y avait pas de différence significative entre les populations ayant rempli les questionnaires A1 et B1 ($0.28 < \chi^2 < 0.93$).

Dans la suite de cette étude nous ne nous sommes pas intéressés aux résultats proprement dits des différentes questions car nous ne nous situons pas, pour cet article, dans une problématique d'évaluation des acquis des étudiants. On peut tout de même noter que ces résultats confirment les conclusions de nombreuses études précédentes (Clement, 1982 ; Terry *et al.*, 1985 ; Engel Clough et Driver, 1986 ; Steinberg *et al.*, 1990 ; Hestenes et Wells, 1992 ; Enderstein et Spargo, 1996 ; Palmer, 1997 ; Tao et Gunstone, 1999) : même après plusieurs années d'apprentissage, les raisonnements communs ne sont pas dépassés en début de premier cycle universitaire par une grande partie des étudiants. Par exemple, uniquement 24 % des étudiants ayant répondu au questionnaire A1 donnent une bonne réponse justifiée à la question m6 citée dans la figure 2 ci-dessus. On peut aussi signaler des difficultés importantes pour les étudiants dans la mise en œuvre de certaines démarches expérimentales.

Conformément à notre problématique, nous nous intéressons aux écarts éventuels entre les pourcentages de bonnes réponses justifiées des questionnaires B1 et A1, dus à la forme de double QCM (ou non) des questions posées.



On constate effectivement des écarts, qui sont très variables d'une question à l'autre. Pour certaines questions (m1, m4 et o1), le double QCM semble aider les étudiants, c'est-à-dire que leur taux de bonnes réponses justifiées est significativement supérieur lorsque le double QCM est proposé ($\chi^2(m1)=14.3$, $\chi^2(m4)=7.6$, $\chi^2(o1)=8.36$). Pour une autre question en revanche (question m2), le double QCM semble les gêner, c'est-à-dire que leur taux de bonnes réponses justifiées est plus faible lorsque le double QCM est proposé ($\chi^2(m2)=4.28$). Enfin, il y a des questions (m5, m6 et p2) pour lesquelles le taux de bonnes réponses justifiées ne semble pas dépendre de la forme de la question, ouverte ou sous forme de double QCM ($\chi^2(m5)=2.8$, $\chi^2(m6)=0.65$, $\chi^2(p2)=0.16$). On constate donc, conformément aux travaux de

Georges Noizet et Jean-Paul Caverni (1978), que les justifications inexactes proposées, appelées distracteurs dans la suite de cette étude, influent sur les réponses des étudiants. Ces résultats, étayés par différentes analyses bibliographiques, nous ont permis d'émettre plusieurs hypothèses sur les facteurs pouvant, dans un double QCM, influencer ou non les réponses des étudiants.

1.3. Hypothèses sur les facteurs pouvant influencer ou non les réponses des étudiants

1.3.1. Facteurs influençant les réponses des étudiants

- *Hypothèse 1 : la présence d'un distracteur attractif pour les étudiants dans le double QCM diminue le pourcentage de bonnes réponses justifiées tandis que son absence l'augmente*

Lorsqu'une justification proche d'un raisonnement commun très prégnant est proposée, on peut penser que les étudiants sont attirés par cette proposition erronée. Le double QCM pourrait donc augmenter la « difficulté » de la question lorsqu'un distracteur attractif est proposé. En effet, d'après Noizet et Caverni (1978), « si la difficulté d'une question tient pour une part à son thème, elle tient également au choix des distracteurs dont on l'assortit, c'est-à-dire au contenu des sous-questions [ici, des justifications] invitant à l'erreur ».

Inversement, on peut également émettre l'hypothèse que l'absence d'un distracteur attractif dans un double QCM peut aider les étudiants à trouver la bonne réponse car ils ne sont pas « tentés » d'utiliser le raisonnement commun correspondant. En effet, même s'ils peuvent remplir la case « Autre », les effets de contrat poussent les étudiants à choisir parmi les réponses proposées.

Cependant, il ne faut pas oublier que l'attractivité d'un distracteur est relative et elle dépend de celle des autres justifications. Les nombreux résultats de didactique publiés sur les raisonnements des étudiants peuvent aider à évaluer l'attractivité des différentes propositions ; il faut donc étudier l'ensemble des justifications proposées puis les comparer les unes aux autres pour déterminer si un distracteur est vraiment attractif pour les étudiants.

- *Hypothèse 2 : une « association » forte entre réponses et justifications augmente le pourcentage de bonnes réponses justifiées*

Les QCM sont des questions de sélection (De Ketele, 1980), tout se passe comme si le candidat se proposait une tâche comparative : « Parmi l'ensemble des sous-questions de cette question, essayons de discriminer lesquelles sont celles qui appellent le plus vraisemblablement la réponse « Vrai » et celles qui appellent le plus vraisemblablement la réponse « Faux ». Cette conception de la tâche l'oriente vers le choix d'un patron de réponse

(plus précisément de sous-réponses) » (Noizet et Caverni, 1978). Il nous semble que ce « patron de réponse » a beaucoup plus de chances de correspondre à la bonne réponse justifiée lorsque les réponses et les justifications sont fortement associées. Par exemple, dans la question o1 ci-dessous, la justification « L'image ne change pas car l'écran reste en place » renvoie à la réponse « L'image ne change pas », alors que dans la question m4, la justification « La vitesse de tout mouvement uniforme est constante » n'est liée directement à aucune des réponses proposées.

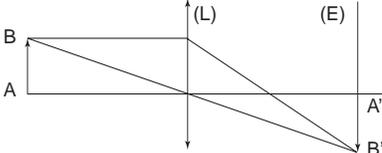
« Association » forte entre réponses et justifications	« Association » faible entre réponses et justifications
<p>Question o1 :</p> <p>La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).</p>  <p>Que voit-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'image ne change pas. <input type="checkbox"/> L'image se redresse (↑). <input type="checkbox"/> On ne voit plus d'image. <input type="checkbox"/> On voit sur l'écran la projection de AB. <input type="checkbox"/> Je ne sais pas. <p>Comment expliqueriez-vous votre réponse ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'image ne change pas car l'écran reste en place. <input type="checkbox"/> Avec la lentille l'image était renversée (↓) donc sans la lentille l'image va se redresser (↑). <input type="checkbox"/> AB ne sera pas déformé car le faisceau lumineux ne traverse que l'air. <input type="checkbox"/> Comme la lentille est nécessaire pour former l'image, sans la lentille on n'aura pas d'image. <input type="checkbox"/> L'écran sera uniformément éclairé, car la lumière issue de l'objet va dans toutes les directions. <input type="checkbox"/> Autre : 	<p>Question m4 :</p> <p>Lorsqu'un corps est animé d'un mouvement circulaire uniforme (cercle de rayon R) dans un référentiel donné,</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> son accélération est nulle dans ce référentiel <input type="checkbox"/> son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel <input type="checkbox"/> la composante normale de son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel <input type="checkbox"/> on ne peut rien conclure sur l'accélération dans ce référentiel <input type="checkbox"/> je ne sais pas <p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> La vitesse de tout mouvement uniforme est constante. <input type="checkbox"/> Si R est constant alors le corps est à l'équilibre dans le repère tournant donc la force résultante F est nulle et $a=F/m$. <input type="checkbox"/> $a=v^2/R$ avec v et R constants. <input type="checkbox"/> La vitesse de ce corps change de direction au cours du mouvement. <input type="checkbox"/> Autre :

Tableau 1 • Questions o1 et m4 du questionnaire B1

Ainsi une « association » forte entre réponses et justifications pourrait aider les étudiants lorsque le double QCM est proposé.

- *Hypothèse 3: une formulation des questions et des justifications proposées proche du langage commun diminue le pourcentage de bonnes réponses justifiées dans le double QCM tandis qu'une formulation plus scientifique l'augmente*

Nous pensons que les justifications formulées en langage commun peuvent gêner les étudiants indécis car elles se rapprochent davantage du sens commun. Lorsqu'un double QCM est proposé, l'intuition des étudiants est confortée par ce type de justifications et ils mobilisent peut-être moins leurs connaissances en physique pour répondre à la question posée que lorsque des justifications ne sont pas proposées.

Par contre, lorsque les questions et les justifications sont formulées avec un vocabulaire plus scientifique, ces justifications peuvent aider les étudiants indécis en les incitant à mobiliser davantage leurs connaissances en physique.

1.3.2. Facteurs n'influençant pas les réponses des étudiants

Si les facteurs précédents semblent pouvoir influencer sur les réponses des étudiants, nous pensons que d'autres facteurs évoqués dans diverses recherches sur les questionnaires, comme l'ordre des questions, le nombre de réponses et de justifications proposées ou la position de la bonne justification dans le double QCM n'ont pas ici d'influence notable pour plusieurs raisons.

D'une part les étudiants ont répondu à ce questionnaire sérieusement, et ils y ont consacré le temps nécessaire. Même si un effet de lassitude peut expliquer l'augmentation du nombre de réponses vides pour les dernières questions du questionnaire A1 (sans double QCM), la forme de QCM, au moins pour la première partie de chaque question, facilite le travail de l'étudiant, ce qui minimise les effets de fatigue. Nous avons donc considéré que les réponses, même les dernières, n'ont pas été données au hasard. D'autre part chaque question porte sur un thème différent. Il ne peut donc pas y avoir d'effet d'apprentissage au cours de la passation du questionnaire. On peut donc penser que l'ordre des questions n'influence pas ici les étudiants.

De même, à condition que les questions proposent au moins deux distracteurs attractifs, le nombre de distracteurs dans le double QCM n'influencerait pas les réponses des étudiants. Certes si plusieurs justifications correctes sont proposées, la probabilité de cocher au hasard une bonne justification augmente, cependant la forme du questionnaire, « facile » à remplir pour les étudiants dans la mesure où ils n'ont qu'à choisir parmi une liste, permet vraisemblablement de minimiser le nombre d'étudiants répondant au

hasard. On peut donc émettre l'hypothèse que le nombre de justifications correctes proposées n'influence pas leurs réponses si la bonne justification la plus attractive (correspondant au raisonnement commun le plus fréquent) est toujours proposée.

Enfin, comme la liste des justifications proposées est relativement courte (cinq au maximum), il n'y aurait pas d'effet de récence (dernière justification favorisée) ni d'effet de lassitude (dernière justification défavorisée) (Chauchat, 1985) et la position en fin de liste d'une bonne justification n'aurait donc pas d'importance. Pour finir, rappelons que la fonction première du questionnaire sur lequel nous travaillons ici était le recueil de conceptions des étudiants en physique et non l'étude de l'outil « double QCM ». Aucune des bonnes justifications proposées ne se trouvait en première position, il n'a donc pas été possible de tester dans cette étude l'effet de primauté (première justification favorisée). Cependant nous avons considéré que, étant donné la forme du questionnaire, cet effet n'était pas prépondérant.

1.4. Facteurs non étudiés dans cette étude

Cette étude préliminaire portait sur un questionnaire réellement utilisé pour le recueil de conceptions et non pas construit spécifiquement pour cette étude, il n'a donc pas été possible d'effectuer une analyse exhaustive des différents facteurs pouvant influencer sur les réponses des étudiants. Nous énumérons donc ci-dessous plusieurs facteurs, rapportés par d'autres auteurs, que nous n'avons pas pu étudier ici :

– le contexte et le contenu physique des questions : d'après de nombreux auteurs (Viennot, 1977 et 1989 ; Halloun et Hestenes, 1985 ; Finegold et Gorsky, 1991 ; Palmer, 1997 et 2001 ; Tao et Gunstone, 1999 ; Givry, 2003), les réponses à une question sur un thème donné dépendent fortement du contexte.

– la difficulté de la question : d'après nous, un double QCM pourrait aider d'autant plus les étudiants que la question posée est difficile. En effet, plus la question semble facile à l'étudiant, moins il va passer de temps à tester chacune des différentes justifications proposées. Le double QCM ne « l'aide » donc pas. De plus, il peut même l'induire en erreur en lui proposant des justifications s'approchant du raisonnement commun (que l'étudiant cochera sans prendre la peine de mobiliser ses connaissances scientifiques). Par contre, lorsque la question semble plus difficile à l'étudiant, il examine peut-être davantage toutes les justifications proposées avant de donner sa réponse, ce qui peut « l'aider » à trouver la bonne réponse. Cependant, nous avons choisi de ne pas prendre en compte ce facteur dans cette étude du fait du caractère arbitraire du seuil « séparant » les questions faciles des questions difficiles.

– la tendance à l'acquiescement : d'après de nombreux auteurs (Chauchat, 1985 ; Noizet et Caverni, 1978 ; Ghiglione et Matalon, 1977) les étudiants semblent davantage tentés par les justifications permettant de répondre « Oui » à une question.

– la formulation affirmative ou négative des bonnes justifications proposées : Georges Noizet et Jean-Paul Caverni (Noizet et Caverni, 1978) ont montré qu'un énoncé négatif recueille moins d'adhésion que le même énoncé formulé de façon affirmative.

Le tableau ci-dessous récapitule les différents facteurs évoqués.

Facteurs étudiés dans cette étude		Facteurs non étudiés dans cette étude
Facteurs susceptibles d'influencer les étudiants	Facteurs susceptibles de pas influencer de façon notable les réponses des étudiants	
<ul style="list-style-type: none"> - La présence ou l'absence d'un distracteur attractif (c'est-à-dire proche du raisonnement commun des étudiants) - La force de l'« association » entre réponses et justifications - La formulation des questions et des justifications (proche du langage commun ou du langage scientifique) 	<ul style="list-style-type: none"> - l'ordre des questions posées - l'ordre des justifications proposées - un nombre de réponses proposées supérieur à deux - un nombre de distracteurs proposés supérieur ou égal à deux - un nombre de justifications correctes proposées supérieur ou égal à deux 	<ul style="list-style-type: none"> - le contexte et le contenu physique des questions - la difficulté de la question - la tendance à l'acquiescement - la formulation affirmative ou négative des bonnes justifications proposées

Tableau 2 • Liste des facteurs pouvant influencer ou non les réponses des étudiants lorsqu'un double QCM est posé

1.5. Analyse et interprétation des résultats

Seuls quelques facteurs ont été examinés, sans être isolés, dans cette étude préliminaire, et nous n'avons pas pu analyser les interactions éventuelles entre ces facteurs. Nous avons tout de même estimé, pour chaque question, l'influence du double QCM sur le taux de bonnes réponses justifiées des étudiants, en tenant compte des hypothèses formulées plus haut. Lorsque nous avons supposé qu'un facteur entraînait un pourcentage de bonnes réponses justifiées supérieur dans le questionnaire B1, nous considérons que ce facteur a une influence « positive » (+) et lorsque nous avons supposé qu'un facteur entraînait un pourcentage de bonnes réponses justifiées supérieur dans le questionnaire A1 (sans double QCM), nous considérons que ce facteur a une influence « négative » (-). Dans la ligne appelée « Influence présumée du double QCM », nous totalisons, pour chaque ques-

tion, le nombre de facteurs dont nous pouvons penser qu'ils ont une influence « positive » ou « négative ». Etant donné qu'on ne peut pas quantifier l'influence respective des différents facteurs, nous avons choisi d'attribuer la même importance à chacun. Il ne s'agit bien sûr pas d'un résultat mathématique et nous n'avons pas la prétention, dans cette étude préliminaire, d'avoir mesuré « l'influence » du double QCM sur les résultats obtenus, mais cela nous permet d'établir une tendance.

	m1	m2	m4	m5	m6	p2	o1
Présence ou absence d'un distracteur	<i>absence d'un distracteur attractif (+)</i>	<i>présence d'un distracteur attractif (-)</i>				<i>présence d'un distracteur attractif (-)</i>	
« Association » forte entre réponses et justifications				(+)	(+)	(+)	(+)
Formulation de la question et des justifications	<i>proche du langage scientifique (+)</i>	<i>proche du langage commun (-)</i>	<i>proche du langage scientifique (+)</i>	<i>proche du langage commun (-)</i>	<i>proche du langage commun (-)</i>		<i>proche du langage scientifique (+)</i>
« Influence » présumée du double QCM	2 (+)	2 (-)	(+)	nulle	nulle	nulle	2 (+)

Tableau 3 • Influence présumée des différents facteurs sur le taux de bonnes réponses justifiées au double QCM

Si on confronte ces résultats à ceux des questionnaires A1 et B1 on constate que :

- les questions m1, m4, et o1 ont un taux de bonnes réponses justifiées supérieur lorsque le questionnaire est proposé sous la forme du double QCM.
- les questions m6, p2 et m5 ont un pourcentage de bonnes réponses justifiées voisin dans les deux questionnaires.
- la question m2 a un taux de bonnes réponses justifiées supérieur lorsque le double QCM n'est pas proposé.

Ainsi, même si nous n'avons effectué pour l'instant que des hypothèses sur l'influence possible des différents facteurs et si l'influence présumée du double QCM ne peut faire ressortir qu'une tendance (rappelons que nous avons supposé que les différents facteurs ont tous une « influence » d'égale importance et qu'ils ne sont pas liés), nous ne pouvons qu'être frap-

pés par l'adéquation entre les résultats expérimentaux de cette étude (paragraphe 1-2) et « l'influence » du double QCM telle que nous l'avons évaluée. Ces résultats nous ont amenés à mettre en place une étude plus poussée de l'outil « double QCM ».

2. ÉVALUATION DE L'OUTIL « DOUBLE QCM »

2.1. Hypothèses

L'étude préliminaire, qui portait sur un questionnaire non spécifiquement construit pour cette recherche, nous a donc permis de formuler des hypothèses sur les différents facteurs pouvant influencer les réponses des étudiants. Nous avons ensuite élaboré plusieurs questionnaires dans lesquels les différents facteurs étaient isolés, permettant ainsi de tester leur influence (tableau 4). Nous avons proposé ces nouveaux questionnaires à des populations équivalentes en octobre 2003 et en mai 2004.

Les facteurs que nous avons testés dans la suite de cette étude sont les suivants :

Facteurs susceptibles d'influencer les réponses des étudiants	Facteurs susceptibles de ne pas influencer les réponses des étudiants
<ul style="list-style-type: none"> - La présence ou l'absence d'un distracteur attractif - la force de l'« association » entre réponses et justifications 	<ul style="list-style-type: none"> - un nombre de distracteurs proposés supérieur ou égal à deux - un nombre de justifications correctes proposées supérieur à un

Tableau 4 • Liste des facteurs testés

Remarque : le facteur dépendant de la formulation de la question et des justifications (proche du langage commun ou du langage scientifique) ne pouvant pas être modifié sans changer les objectifs d'une question, nous ne le testons pas ici.

2.2. Protocole expérimental

Un questionnaire A2, sous forme de questions ouvertes, et trois questionnaires B2, C2 et D2 sous forme de doubles QCM ont été posés à des étudiants de 1^{re} année universitaire (100 élèves ont répondu au questionnaire A2, 95 au questionnaire B2, 97 étudiants au questionnaire C2 et 101 au questionnaire D2). Ils ont été distribués en octobre 2003, dans quatre amphithéâtres correspondant à deux sections de DEUG SM et deux sections de MIAS, et remplis sur place. Dans chaque amphithéâtre nous avons distribué chacun des quatre questionnaires à un quart des étudiants afin de neu-

traliser le facteur « section ». De la même manière que pour l'étude préliminaire, les étudiants ont disposé d'environ une demi-heure pour y répondre, avec du temps supplémentaire si nécessaire. Les justifications données par les étudiants répondant au questionnaire A2 ont été catégorisées de la même manière que lors de l'étude préliminaire. Pour chaque thème les questions sont restées les mêmes mais la formulation et le nombre des justifications proposées (dans les doubles QCM) ont varié. Les questionnaires comprennent donc toujours six questions de mécanique (m1 à m6), une d'optique (o1) et trois questions portant sur des démarches expérimentales (p1 à p3).

Les questions p1 et p3, portant sur l'isolement des variables, ne demandent toujours pas de justifications, à ce titre elles ne rentrent pas dans le cadre de cette étude. En effet l'étude préliminaire a montré que les réponses à ces questions permettent à elles seules de connaître les compétences des étudiants, car la quasi totalité de ceux qui répondaient bien dans le questionnaire A1, sans double QCM, justifiaient bien leur réponse. Il ne nous est donc pas apparu nécessaire de construire un double QCM pour cette compétence. Nous avons tout de même posé ces questions dans cette seconde étude, de la même manière dans les quatre questionnaires, car elles nous servent ainsi de questions témoin. Nous avons montré qu'il n'y a pas de différences significatives entre les populations ayant répondu aux questionnaires A2, B2, C2 et D2 pour ces questions ($0.04 < \chi^2 < 3.15$) (seule restriction : le nombre important de non-réponses pour la question p3 dans le questionnaire A2, sans double QCM, n'a pas permis de comparer le « groupe » A et les autres).

Ensuite, afin d'affiner encore cette étude, deux questionnaires A3 et B3, sous forme de doubles QCM, ont été posés fin mai 2004 dans les mêmes conditions, c'est-à-dire chacun dans une demi-classe, à 168 élèves de 7 classes de terminale scientifique. En effet la formulation testée à la rentrée 2003 à l'université s'est révélée non pertinente pour les questions m1 et o1 (en particulier pour des problèmes de vocabulaire). Nous avons regroupé dans l'annexe 2 les justifications proposées dans l'ensemble des questionnaires B2, C2 et D2 et les questionnaires A3 et B3 figurent dans l'annexe 3. Les résultats de ces différents questionnaires sont donnés en annexe 4. La comparaison entre deux doubles QCM dans lesquels un seul facteur varie nous a alors permis d'obtenir les résultats suivants.

2.3. Résultats

Nous avons avant tout vérifié l'équivalence des populations testées en 2002 et 2003, en comparant les résultats aux questionnaires sans double QCM (questionnaires A1 et A2), afin de pouvoir comparer les résultats des différents doubles QCM. Nous n'avons pas observé de différences significatives entre ces populations, et ce quelle que soit la question ($0 < \chi^2 < 3.17$).

2.3.1. Facteurs influençant les réponses des étudiants

– Présence ou absence d'un distracteur attractif

Pour tester cette première hypothèse nous avons comparé les résultats de trois doubles QCM proposant ou non un distracteur attractif.

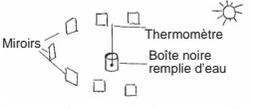
Question m1	Question m2	Question p2
<p>Si la vitesse d'un corps de masse m est nulle à un instant donné,</p> <p><input type="checkbox"/> son accélération est nulle à cet instant</p> <p><input type="checkbox"/> son accélération ne peut pas être nulle</p> <p><input type="checkbox"/> on ne peut rien conclure sur son accélération</p> <p><input type="checkbox"/> je ne sais pas conclure sur son accélération</p> <p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <p><input type="checkbox"/> Il n'y a pas de mouvement, alors l'accélération est nulle.</p> <p><input type="checkbox"/> La vitesse et l'accélération ne peuvent pas s'annuler en même temps.</p> <p><input type="checkbox"/> Il faudrait connaître la vitesse un peu avant ou un peu après pour connaître l'accélération.</p> <p><input type="checkbox"/> Si la vitesse est nulle, la résultante des forces est nulle et l'accélération est nulle.</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p>	<p>Au service, un joueur de tennis lance une balle en l'air, vers le haut. La balle monte en ralentissant.</p> <p>Comment l'expliquez-vous ?</p> <p><input type="checkbox"/> Le joueur lui a donné une force vers le haut dont la valeur diminue au cours de l'ascension.</p> <p><input type="checkbox"/> Le joueur lui a donné une vitesse initiale vers le haut, mais le poids l'accélère vers le bas.</p> <p><input type="checkbox"/> Ce sont essentiellement les frottements de l'air qui la freinent.</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p>	<p>Les fours solaires comportent des jeux de miroirs. Des étudiants pensent que c'est pour « concentrer les rayons du soleil et chauffer plus » et ils réalisent l'expérience suivante :</p>  <p>La température de l'eau au départ était de 22°C, au bout de trente minutes ils relèvent une température de 27°C à l'intérieur du récipient. Cette expérience vérifie-t-elle l'hypothèse de départ ?</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Comment expliqueriez vous votre réponse ?</p> <p><input type="checkbox"/> Oui, car l'eau est plus chaude qu'au départ.</p> <p><input type="checkbox"/> Non, car l'eau atteindrait peut-être la même température sans les miroirs.</p> <p><input type="checkbox"/> Non, car la différence de température n'est pas assez importante.</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p>
<p>Distracteur attractif proposé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si la vitesse v est nulle, alors sa dérivée $dv/dt = 0$ et donc l'accélération est nulle. 	<p>Distracteur attractif proposé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La force que lui a donnée le joueur finit par être compensée par le poids de la balle. 	<p>Distracteur attractif proposé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non, car on n'a pas relevé la température de l'air ambiant.

Tableau 5 • Étude du facteur « Présence ou absence d'un distracteur attractif dans le double QCM »

Le pourcentage de bonnes réponses justifiées, présenté dans le tableau 5, diminue d'au moins 17 % lorsqu'un distracteur attractif est proposé et les différences sont significatives pour ces trois questions ($\chi^2(m1)=5.9$, $\chi^2(m2)=14.8$, $\chi^2(p2)=7.7$). Nous pouvons donc conclure que la présence d'un distracteur attractif est un facteur gênant pour les étudiants lorsqu'ils répondent à un double QCM.

Cependant l'attractivité d'un distracteur est relative. Elle peut être neutralisée par exemple par l'attractivité forte d'une justification correcte. Ainsi, dans la question m1, si la justification correcte est plus attractive « Il faudrait

connaître la vitesse un peu avant ou un peu après pour connaître l'accélération car l'accélération est liée à la variation de la vitesse », et si le distracteur est un peu moins attractif (en retirant la formule mathématique) « Si la vitesse est nulle, alors sa dérivée par rapport au temps est nulle donc l'accélération est nulle », nous obtenons un pourcentage de bonnes réponses justifiées, présenté dans le tableau 6, qui « ne dépend plus » de la présence ou de l'absence de ce distracteur ($\chi^2=0.32$, pas de différence significative).

		m1	m2*	p2
Pourcentage de bonnes réponses justifiées (* : de bonnes justifications pour m2)	Présence du distracteur attractif dans le double QCM	19 % (corpus : 84 lycéens)	36 % (corpus : 113 étudiants)	34 % (corpus : 113 étudiants)
	Absence du distracteur attractif dans le double QCM	36 % (corpus : 84 lycéens)	63 % (corpus : 97 étudiants)	53 % (corpus : 97 étudiants)

Tableau 6 • Relativité de l'attractivité d'un distracteur

– « L'association » forte entre réponses et justifications

Nous avons également comparé les résultats d'une version de la question d'optique dans laquelle l'association entre les réponses et les justifications est importante avec une deuxième version de cette même question dans laquelle cette association est plus faible.

Question o1	Version 1	Version 2
<p>La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).</p> <p>Que voit-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'image ne change pas. <input type="checkbox"/> L'image se redresse (↑). <input type="checkbox"/> On ne voit plus d'image. <input type="checkbox"/> On voit sur l'écran la projection de AB. <input type="checkbox"/> Je ne sais pas. 	<p>(« association » forte entre les réponses et les justifications)</p> <p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'image ne change pas car l'écran reste en place. <input type="checkbox"/> Avec la lentille l'image était renversée (?) donc sans la lentille l'image se redresse (?). <input type="checkbox"/> On ne voit pas d'image car la lumière issue de l'objet va dans toutes les directions. <input type="checkbox"/> AB se projette sur l'écran car le faisceau lumineux ne traverse que l'air. <input type="checkbox"/> Autre : 	<p>(« association » faible entre les réponses et les justifications)</p> <p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> La lumière issue de l'objet va dans toutes les directions. <input type="checkbox"/> Le faisceau lumineux ne traverse que l'air. <input type="checkbox"/> L'écran reste en place. <input type="checkbox"/> La lentille renversait l'image. <input type="checkbox"/> Autre :
<p>Pourcentage de bonnes réponses justifiées</p>	<p>46 % (corpus : 84 lycéens)</p>	<p>21 % (corpus : 84 lycéens)</p>

Tableau 7 • Étude du facteur « Relation forte entre réponses et justifications »

Les résultats confirment notre hypothèse : si les justifications et les réponses sont fortement liées dans un double QCM, le pourcentage de bonnes réponses justifiées est significativement plus important ($\chi^2=11.7$).

2.3.2. Facteur n'influençant pas les réponses des étudiants

		Question m2*		Question m4
		<p>Au service, un joueur de tennis lance une balle en l'air, vers le haut. La balle monte en ralentissant.</p> <p>Comment l'expliquez-vous ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Le joueur lui a donné une force vers le haut dont la valeur diminue au cours de l'ascension. <input type="checkbox"/> Le joueur lui a donné une vitesse initiale vers le haut, mais le poids l'accélère vers le bas (justification correcte n° 1) <input type="checkbox"/> L'énergie mécanique est constante. Comme l'énergie potentielle augmente, l'énergie cinétique et la vitesse diminuent. (justification correcte n° 2) <input type="checkbox"/> Ce sont essentiellement les frottements de l'air qui la freinent. <input type="checkbox"/> La force que lui a donnée le joueur finit par être compensée par le poids de la balle. (distracteur n° 3) <input type="checkbox"/> Autre : 		<p>Lorsqu'un corps est animé d'un mouvement circulaire uniforme (cercle de rayon R) dans un référentiel donné,</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> son accélération est nulle dans ce référentiel <input type="checkbox"/> son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel <input type="checkbox"/> la composante normale de son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel <input type="checkbox"/> on ne peut rien conclure sur l'accélération dans ce référentiel <input type="checkbox"/> je ne sais pas <p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> La vitesse de tout mouvement uniforme est constante. <input type="checkbox"/> $a=v^2/R$ avec v et R constants. (justification correcte n° 1) <input type="checkbox"/> La vitesse de ce corps change de direction au cours du mouvement. (justification correcte n° 2) <input type="checkbox"/> Si R est constant alors le corps est à l'équilibre dans le repère tournant donc la force résultante F est nulle et $\vec{a}=\vec{F}/m$. <input type="checkbox"/> Autre :
Justifications correctes proposées				
Pourcentage de bonnes réponses justifiées (* : de bonnes justifications pour m2)	n° 1 et n° 2	44 % (corpus : 95 étudiants)	Sans le distracteur n° 3 : 60 % (corpus : 101 étudiants)	16 % (corpus : 101 étudiants)
	Uniquement n° 1	36 % (corpus : 113 étudiants)	Sans le distracteur n° 3 : 63 % (corpus : 97 étudiants)	15 % (corpus : 95 étudiants)
	Uniquement n° 2			6 % (corpus : 97 étudiants)

Tableau 8 • Étude du facteur « Nombre de justifications correctes proposées »

Les résultats valident notre hypothèse : proposer deux justifications correctes ne fait pas augmenter de façon perceptible le pourcentage de bonnes réponses lorsque la réponse correcte « principale » est proposée ($\chi^2(m2)=0.13$ sans le distracteur 3 et $\chi^2(m2)=1.35$ avec ce distracteur, et $\chi^2(m4)=0.05$ dans le cas où seul le distracteur 1 est proposé). Cela peut s'expliquer par le fait que les 2^e justifications correctes proposées dans les questions m2 et m4 sont des propositions mettant en jeu des raisonnements peu utilisés naturellement par les élèves (5 % des étudiants utilisent ces raisonnements lorsque les questions sont ouvertes).

Par contre, lorsqu'il manque le raisonnement correct le plus utilisé habituellement par les étudiants (la justification correcte n° 1 de la question m4 a été utilisée par 27 % des étudiants lorsque la question est ouverte), le pourcentage de bonnes réponses justifiées est significativement plus faible ($\chi^2=4.7$).

– *Le nombre de distracteurs proposés*

Enfin nous comparons deux versions de la question p2 qui proposent un nombre différent de distracteurs.

Question p2	Version 1 (3 distracteurs proposés)	Version 2 (2 distracteurs proposés)
<p>Les fours solaires comportent des jeux de miroirs. Des étudiants savent que cela permet de concentrer les rayons du soleil et ils émettent l'hypothèse que c'est pour « chauffer plus ». Ils réalisent l'expérience suivante :</p> <p>La température de l'eau au départ était de 22°C, au bout de trente minutes ils relèvent une température de 27°C à l'intérieur du récipient. Cette expérience vérifie-t-elle l'hypothèse de départ ?</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p>	<p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <p><input type="checkbox"/> Oui, car l'eau est plus chaude qu'au départ.</p> <p><input type="checkbox"/> Non, car l'eau atteindrait peut-être la même température sans les miroirs.</p> <p><input type="checkbox"/> Non, car la différence de température n'est pas assez importante.</p> <p><input type="checkbox"/> Oui, car les rayons provenant des miroirs atteignent la boîte noire remplie d'eau.</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p>	<p>Comment justifiez-vous votre réponse ?</p> <p><input type="checkbox"/> Oui, car l'eau est plus chaude qu'au départ.</p> <p><input type="checkbox"/> Non, car l'eau atteindrait peut-être la même température sans les miroirs.</p> <p><input type="checkbox"/> Non, car la différence de température n'est pas assez importante.</p> <p><input type="checkbox"/> Autre :</p>
<p>Pourcentage de bonnes réponses justifiées</p>	<p>46 % (corpus : 101 étudiants)</p>	<p>53 % (corpus : 97 étudiants)</p>

Tableau 9 • Étude du facteur « Nombre de distracteurs proposés »

Il n'y pas d'écart significatif, l'hypothèse est donc vérifiée : lorsque le nombre de distracteurs proposés est supérieur ou égal à deux, il n'influe pas sur le pourcentage de bonnes réponses justifiées des étudiants ($\chi^2=0.98$).

Toutefois ceci est vrai uniquement si le distracteur le plus attractif est proposé. Le tableau 8 montre en effet que lorsqu'on omet ce distracteur principal (par exemple le distracteur n° 3 pour la question m2, choisi par 28 % des étudiants lorsqu'il est proposé), le taux de bonnes réponses est significativement différent selon que ce distracteur est proposé ou non.

3. CONCLUSION

Cette étude montre que deux facteurs influencent de façon significative les résultats d'un double QCM. Il s'agit de la présence ou de l'absence d'un distracteur très attractif ainsi que de la force de « l'association » entre les réponses et les justifications. Par contre, le nombre de justifications correctes (si la principale est présente) et le nombre de distracteurs proposés (s'il est supérieur ou égal à deux et si le distracteur le plus attractif est proposé) ne semblent pas influencer de façon notable les réponses des étudiants. Il est donc absolument nécessaire, pour construire et développer de tels outils, de disposer (ou d'élaborer) de résultats de recherche précis sur les raisonnements des élèves, en particulier pour estimer l'attractivité des différents distracteurs et pour identifier la bonne et la mauvaise justification majoritaires, qui peuvent d'ailleurs varier suivant les niveaux d'enseignement. Cela ne constitue pas un obstacle majeur dans la mesure où de très nombreuses recherches ont été réalisées depuis plus de 30 ans sur les raisonnements des étudiants, et on dispose ainsi d'une banque de données importante permettant de construire de tels questionnaires.

Bien entendu il faut être prudent dans l'exploitation de ces résultats dans la mesure où ils sont fortement contextualisés et où l'influence couplée des différents facteurs n'a pas été étudiée. Cependant nous espérons que cette liste de facteurs, non exhaustive, influant sur les réponses des étudiants, permettra de développer la construction et l'utilisation des doubles QCM. En effet nos résultats présentent deux intérêts pratiques principaux.

D'une part, dans le cadre d'une évaluation, nous avons montré que le double QCM peut être un outil pertinent. Il permet, en « jouant » sur les différents facteurs, d'obtenir des résultats proches de ceux obtenus avec des questions ouvertes avec deux grands avantages : la saisie des résultats peut être réalisée par des non spécialistes, avec une totale objectivité, ou même automatiquement de façon informatisée si le protocole d'évaluation s'y prête, et surtout on obtient ainsi des informations précises sur les raisonnements des étudiants très rapidement. Cela est particulièrement intéressant dans le cas des enquêtes à grande échelle, ou si l'on souhaite réaliser des évaluations systématiques très rapides en classe, en travaux pratiques par exemple, pour lancer des débats, mettre en place une pédagogie différenciée ou autre utilisation pédagogique, sans empiéter de façon notable sur le

temps d'apprentissage ni sur le temps des enseignants (comme cela est proposé par Labudde *et al*, 1988 ou par Hestenes *et al*, 1992).

D'autre part d'un point de vue plus spécifiquement didactique, on constate que la présence d'un distracteur attractif modifie de façon notable les réponses des étudiants et ce point nous semble particulièrement important. Il peut en effet être nécessaire, suivant les objectifs didactiques visés, de placer ou non un distracteur attractif dans un double QCM. Si on souhaite avoir des résultats les plus proches possibles de ceux qu'on aurait obtenus à l'aide de questions ouvertes on doit omettre ce distracteur, si on revanche on veut tester la persistance de certains raisonnements communs et mettre en évidence des connaissances mal stabilisées on doit au contraire choisir de le proposer. On peut ainsi mettre en évidence des raisonnements erronés chez les étudiants, qui se manifestent davantage par le biais de cet outil qu'avec un questionnement ouvert (comme cela est explicité par Tamir, 1989 et 1990).

Ces deux points nous semblent d'un intérêt pratique important, et nous espérons que cette étude, portant sur l'évaluation d'un outil méthodologique, permettra entre autres le développement de tels outils et contribuera aussi, via des évaluations à grande échelle à l'université par exemple, à la diffusion de travaux de didactique auprès des enseignants.

Remerciements : Nous remercions tout particulièrement les enseignants qui ont accepté de faire passer ces questionnaires pendant leurs cours, R. Chalot, L. Chaumont, N. Daudet, F. Geniet, F. et P.- A. Labolle, M. Manna, V. Perrard, B. Riotte et G. Vidal, ainsi que les membres du LDSP qui se sont impliqués dans l'élaboration de ce questionnaire, en particulier G. Rebmann pour nos nombreuses discussions. Enfin nous tenons à remercier J. Caylet qui est à l'origine des questions p1 et p2 sur les démarches expérimentales, et H. Merle pour ses nombreuses relectures.

BIBLIOGRAPHIE

BESSION U. (2001). *Une approche mésoscopique pour l'enseignement de la statique des fluides*, Thèse de doctorat, université Paris 7.

CHAUCHAT H. (1985). *L'enquête en psycho-sociologie*. Paris, PUF.

CLEMENT J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 50, n° 1, p. 66-71.

DE KETELE J.-M. (1980). *Observer pour éduquer*. Berne, Francfort, Peter Lang.

ENDERSTEIN L. G. & SPARGO P. E. (1996). Beliefs regarding force and motion: a longitudinal and cross-cultural study of South African school pupils. *International Journal of Science Education*, vol. 18, n° 4, p. 479-492.

ENGEL CLOUGH E. & DRIVER R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, vol. 70, n° 4, p. 473-496.

- FAWAZ A. & VIENNOT L. (1986). Image optique et vision, enquête en classe de 1^{re} au Liban. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 686, p. 1125-1147.
- FINEGOLD M. & GORSKY P. (1991). Students' concepts of force as applied to related physical systems: a search for consistency. *International Journal of Science Education*, vol. 13, n° 1, p. 97-113.
- GIVRY D. (2003). Le concept de masse en physique : quelques pistes à propos des conceptions et des obstacles. *Didaskalia*, n° 22, p. 41-67.
- GHIGLIONE R., MATALON B. (1977). *Les enquêtes sociologiques : théories et pratique*. Paris, Armand Colin.
- HALLOUN I. A. & HESTENES D. (1985). The initial knowledge of college physics students. *American Journal of Physics*, vol. 53, n° 11, p. 1043-1055.
- HESTENES D. & WELLS M. (1992). A mechanics baseline tests. *The physics teacher*, vol. 30, p. 159-166.
- HESTENES D., WELLS M. & SWACKHAMER G. (1992). Force concept inventory. *The physics teacher*, vol. 30, p. 141-158.
- KARIOTOGLOU P., KOUMARAS P. & PSILLOS D. (1995). Différenciation conceptuelle : un enseignement d'hydrostatique, fondé sur le développement et la contradiction des conceptions des élèves. *Didaskalia*, n° 7, p. 63-90.
- LABUDDE P., REIF F. & QUINN L. (1988). Facilitation of scientific concept learning by interpretation procedures and diagnosis. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 1, p. 81-98.
- MILLAR R. & HAMES V. (2001). Using diagnostic assessment to improve students' learning: some preliminary findings from work to develop and test diagnostic tools. In D. Psillos & al., (Eds). *Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society* (p 141-143). Thessaloniki, Greece : Art of text publications.
- NOIZET G. & CAVERNI J.-P. (1978). *Psychologie de l'évaluation scolaire*. Paris, PUF.
- OCDE (2004). *Apprendre aujourd'hui, réussir demain. Premiers résultats de PISA 2003*. Paris, Les éditions de l'OCDE.
- PALMER D. (1997). The effect of context on students' reasoning about forces. *International Journal of Science Education*, vol. 19, n° 6, p. 681-696.
- PALMER D. (2001). Investigating the relationship between students' multiple conceptions of action and reaction in cases of static equilibrium. *Research in Science and Technological Education*, vol. 19, n° 2, p. 193-204.
- STEINBERG S., BROWN D. E. & CLEMENT J. (1990). Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. *International Journal of Science Education*, vol. 12, n° 3, p. 265-273.
- TAMIR P. (1989). Some issues related to the use of justifications to multiple-choice answers. *Journal of Biological Education*, vol. 23, p. 285-292.
- TAMIR P. (1990). Justifying the selection of answers in multiple choice items. *International Journal of Science Education*, vol. 12, n° 5, p. 563-573.
- TAO P.-T. & GUNSTONE, R. F. (1999). The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 36, n° 7, p. 859-882.
- TERRY, C., JONES, G. & HURFORD, W. (1985). Children's conceptual understanding of forces and equilibrium. *Physics Education*, vol. 20, p. 162-165.
- TREAGUST D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 2, p. 159-169.
- VIARD, J. (1990-91). Essai d'élaboration d'une stratégie didactique, *petit x*, n° 25, p. 59-94.
- VIENNOT L. (1977). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Thèse de doctorat d'État, université Paris 7.

VIENNOT L. (1989). Bilans de forces et loi des actions réciproques. Analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 716, p. 951-970.

VIENNOT L. (1996). *Raisonnement en physique : La part du sens commun*. Paris, Bruxelles, De Boeck.

ANNEXE 1 : Questionnaires posés en octobre 2002

Le questionnaire A1 a été rempli par 95 étudiants et le questionnaire B1 par 113 étudiants.

Dans le questionnaire A1, les questions et les réponses proposées sont identiques à celles du questionnaire B1 mais les justifications sont demandées de façon « ouverte » : « Comment justifiez-vous votre réponse ? ».

QUESTIONNAIRE B1

Question m1 :

Si la vitesse d'un corps de masse m est nulle à un instant donné,

- son accélération est nulle à cet instant
- son accélération ne peut pas être nulle
- on ne peut rien conclure sur son accélération
- je ne sais pas conclure sur son accélération

Comment justifiez-vous votre réponse ?

- Il n'y a pas de mouvement, alors l'accélération est nulle.
- La vitesse et l'accélération ne peuvent pas s'annuler en même temps.
- La vitesse et l'accélération sont deux vecteurs indépendants.
- Il faudrait connaître la vitesse un peu avant ou un peu après car l'accélération est liée à la variation de la vitesse.
- Si la vitesse est nulle c'est que la résultante \vec{F} des forces est nulle et $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$..
- Autre.....

Question m2 :

Au service, un joueur de tennis lance une balle en l'air, vers le haut. La balle monte en ralentissant.

Comment l'expliquez-vous ?

- Le joueur lui a donné une force vers le haut dont la valeur diminue au cours de l'ascension.
- Le joueur lui a donné une vitesse initiale vers le haut, mais le poids l'accélère vers le bas.
- Ce sont essentiellement les frottements de l'air qui la freinent.
- La force que lui a donnée le joueur finit par être compensée par le poids de la balle.
- Autre :

Question m3 :

Pierre de masse 100 kg et sa petite sœur Marie de masse 40 kg s'appuient dos à dos. Marie est déséquilibrée. Pensez-vous que c'est parce que la valeur de la force exercée par Pierre sur Marie est plus importante que celle exercée par Marie sur Pierre ?

- oui
- non
- on ne peut pas répondre avec ces données
- je ne sais pas

Question m4 :

Lorsqu'un corps est animé d'un mouvement circulaire uniforme (cercle de rayon R) dans un référentiel donné,

- son accélération est nulle dans ce référentiel
- son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel
- la composante normale de son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel
- on ne peut rien conclure sur l'accélération dans ce référentiel
- je ne sais pas

Comment justifiez-vous votre réponse ?

- La vitesse de tout mouvement uniforme est constante.
- Si R est constant alors le corps est à l'équilibre dans le repère tournant donc la force résultante \vec{F} est nulle et $a = \vec{a} = \vec{F}/m$.
- $a=v^2/R$ avec v et R constants.
- La vitesse de ce corps change de direction au cours du mouvement.
- Autre :

Question m5 :

Un personnage, à l'arrêt sur un tapis roulant en fonctionnement (à vitesse constante), lance une bille en plomb au dessus de sa tête. Où retombera cette bille ?

- Devant le lanceur.
- Derrière le lanceur.
- « Sur la tête » du lanceur.
- Je ne sais pas.

Comment expliqueriez-vous votre réponse ?

- C'est la résistance de l'air qui la freine.
- Pendant que la bille est en l'air, le tapis a avancé.
- Pendant que la bille est en l'air, elle n'est plus entraînée par le tapis.
- La bille a une vitesse initiale égale à celle du tapis et la résistance de l'air est négligeable.
- Autre :

Question m6 :

Un avion vole horizontalement à vitesse constante dans le référentiel terrestre supposé Galiléen. Les forces de frottement exercées sur l'avion sont assimilables à une seule force horizontale représentée ci-dessous :



La composante horizontale de la poussée des réacteurs est (en module) :

- plus grande que la force de frottement
- égale à la force de frottement
- inférieure à la force de frottement
- je ne sais pas

Comment expliqueriez-vous votre réponse ?

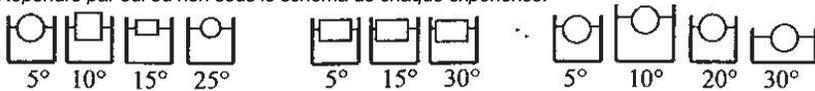
- Si elle n'est pas plus grande, l'avion ne peut pas avancer.
- Pour qu'il vole à vitesse constante, il faut que la somme des forces soit nulle.
- Si la résultante des forces était nulle, l'avion ferait du «sur-place ».
- Autre :

Question p1 :

Chacune des expériences suivantes permet-elle de répondre à la question :

« Un glaçon fond-il plus vite dans l'eau chaude que dans l'eau froide ? » ?

Répondre par oui ou non sous le schéma de chaque expérience.



Expérience A
 oui non

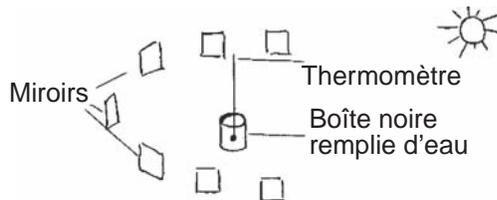
Expérience B
 oui non

Expérience C
 oui non

Les dessins représentent le début des expériences : des glaçons sont plongés dans de l'eau dont la température est indiquée au dessous du récipient.

Question p2 :

Les fours solaires comportent des jeux de miroirs. Des étudiants pensent que c'est pour « concentrer les rayons du soleil et chauffer plus » et ils réalisent l'expérience suivante :



La température de l'eau au départ était de 22°C, au bout de trente minutes ils relèvent une température de 27°C à l'intérieur du récipient. Cette expérience vérifie-t-elle l'hypothèse de départ ?

- Oui Non

Comment expliqueriez vous votre réponse ?

- Oui, car l'eau est plus chaude qu'au départ.
- Non, car l'eau atteindrait peut-être la même température sans les miroirs.
- Non, car la différence de température n'est pas assez importante.
- Non, car on n'a pas relevé la température de l'air ambiant.
- Autre :

Question p3 :

Quand on étudie expérimentalement l'évaporation de l'eau on constate que :

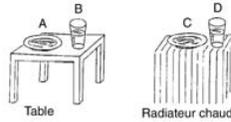
- L'évaporation est d'autant plus rapide que la surface au contact de l'air est grande.
- L'évaporation est d'autant plus rapide que la température est élevée.

On verse la même quantité d'eau dans deux assiettes identiques (étiquetées A et C) et dans deux verres étroits identiques (étiquetés B et D).

On les place de la manière suivante :

Assiette A et verre B sur une table dans la salle

Assiette C et verre D sur un radiateur chaud dans la salle



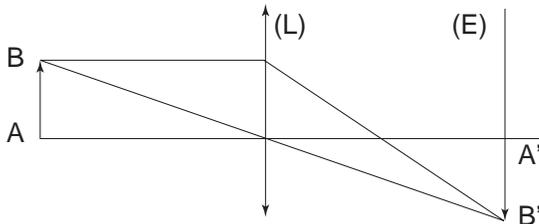
On veut savoir dans quel ordre les récipients vont se retrouver sans eau. Pour chaque récipient, entourer 1, 2, 3, 4 ou N si on ne peut pas répondre (ne rien entourer si vous ne savez pas répondre).

L'eau du récipient A va disparaître en	1	2	3	4	N
L'eau du récipient B va disparaître en	1	2	3	4	N
L'eau du récipient C va disparaître en	1	2	3	4	N
L'eau du récipient D va disparaître en	1	2	3	4	N

Question o1 :

Dans cet exercice vous pouvez donner plusieurs réponses et explications si nécessaire.

La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).



Que verra-t-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?

- L'image ne change pas.
- L'image va se redresser (↑).
- On aura sur l'écran la projection de AB.
- On n'aura pas d'image.
- Tout l'écran sera éclairé.
- Je ne sais pas.
- Autre

Comment expliqueriez-vous votre réponse ?

- L'image ne change pas car l'écran reste en place.
- Avec la lentille l'image était renversée (↓) donc sans la lentille l'image va se redresser (↑).

- AB ne sera pas déformé car le faisceau lumineux ne traverse que l'air.
- Comme la lentille est nécessaire pour former l'image, sans la lentille on n'aura pas d'image.
- L'écran sera uniformément éclairé, car la lumière issue de l'objet va dans toutes les directions.
- Autre

ANNEXE 2 : Questionnaires posés en octobre 2003

Dans le questionnaire A2, les justifications étaient demandées sous forme de « justifications ouvertes ».

Pour les questionnaires B2, C2 et D2, un certain nombre de justifications étaient proposées.

Le tableau ci-dessous liste, pour chaque question et chaque questionnaire, les justifications proposées, dans l'ordre dans lequel elles figurent dans le questionnaire, les nombres entre parenthèses correspondent aux effectifs.

Remarque : les effectifs varient suivant les questions pour le questionnaire A2 car dans deux sections les étudiants n'ont pas eu le temps de traiter les deux dernières questions (les pourcentages de non réponse sont supérieurs à 74 % alors que pour les autres questions ils ne dépassent pas 35 %) ; ce n'est pas le cas pour les questionnaires B2, C2 et D2 car ils sont plus rapides à remplir.

		Questionnaire A2	Questionnaire B2	Questionnaire C2	Questionnaire D2
Effectif		100 étudiants (sauf p3 et o1 : 57 étudiants)	95 étudiants	97 étudiants	101 étudiants
Justifications proposées	m1	/	abcde	abcde	abcd
	m2		abcde	acd	abcd
	m3		abcd	aefd	aghd
	m4		abc	adc	abdc
	m5		abcd	abcd	abcd
	m6		abc	abc	abc
	p1		Pas de justifications demandées		
	p2		abcde	abc	abce
	p3		Pas de justifications demandées		
	o1		abcd	efgh	abcd

Question m1

Si la vitesse d'un corps de masse m est nulle à un instant donné,

- son accélération est nulle à cet instant
- son accélération ne peut pas être nulle
- on ne peut rien conclure sur son accélération
- je ne sais pas conclure sur son accélération

Liste de toutes les justifications proposées :

- Il n'y a pas de mouvement, alors l'accélération est nulle. (a)
- La vitesse et l'accélération ne peuvent pas s'annuler en même temps. (b)
- Il faudrait connaître la vitesse un peu avant ou un peu après car l'accélération est liée à la variation de la vitesse. (c)
- Si la vitesse est nulle c'est que la résultante \vec{F} des forces est nulle et $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$.
- Si la vitesse est nulle, alors sa dérivée par rapport au temps est nulle donc l'accélération est nulle. (e)
- Autre :

Question m2

Au service, un joueur de tennis lance une balle en l'air, vers le haut. La balle monte en ralentissant.

Liste de toutes les justifications proposées :

- Le joueur lui a donné une force vers le haut dont la valeur diminue au cours de l'ascension. (a)
- L'énergie mécanique est constante. Comme l'énergie potentielle augmente, l'énergie cinétique et la vitesse diminuent. (b)

- Le joueur lui a donné une vitesse initiale vers le haut, mais le poids l'accélère vers le bas. (c)
 Ce sont essentiellement les frottements de l'air qui la freinent. (d)
 La force que lui a donnée le joueur finit par être compensée par le poids de la balle. (e)
 Autre :

Question m3

Pierre de masse 100 kg et sa petite sœur Marie de masse 40 kg s'appuient dos à dos. Marie est déséquilibrée. Pensez-vous que c'est parce que la valeur de la force exercée par Pierre sur Marie est plus importante que celle exercée par Marie sur Pierre ?

- oui non on ne peut pas répondre avec ces données
 je ne sais pas

Liste de toutes les justifications proposées :

- La masse de Pierre est plus importante. (a)
 D'après le principe des actions réciproques, la force exercée par Pierre sur Marie et celle exercée par Marie sur Pierre sont égales. (b)
 D'après la formule $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$. , s'il y a déséquilibre, la force exercée par Pierre sur Marie et celle exercée par Marie sur Pierre sont différentes. (c)
 Le centre de gravité de Marie et celui de Pierre ne sont pas à la même hauteur. (d)
 D'après le principe des actions réciproques. (e)
 D'après la formule $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$. . (f)
 La force exercée par Pierre sur Marie et celle exercée par Marie sur Pierre sont égales. (g)
 S'il y a déséquilibre, la force exercée par Pierre sur Marie et celle exercée par Marie sur Pierre sont différentes. (h)
 Autre :

Question m4

Lorsqu'un corps est animé d'un mouvement circulaire uniforme (cercle de rayon R) dans un référentiel donné,

- son accélération est nulle dans ce référentiel
 son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel
 la composante normale de son accélération est constante (non nulle) dans ce référentiel
 on ne peut rien conclure sur l'accélération dans ce référentiel
 je ne sais pas

Liste de toutes les justifications proposées :

- La vitesse de tout mouvement uniforme est constante. (a)
 $a = v^2/R$ avec v et R constants. (b)
 Si R est constant alors le corps est à l'équilibre dans le repère tournant donc la force résultante \vec{F} est nulle et $\vec{a} = \vec{F}/m$. (c)
 La vitesse de ce corps change de direction au cours du mouvement. (d)
 Autre :

Question m5

Un personnage, à l'arrêt sur un tapis roulant en fonctionnement (à vitesse constante), lance une bille en plomb au dessus de sa tête. Où retombera cette bille ?

- Devant le lanceur.
- Derrière le lanceur.
- « Sur la tête » du lanceur.
- Je ne sais pas.

Liste de toutes les justifications proposées :

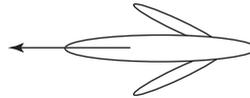
- C'est la résistance de l'air qui la freine. (a)
- Pendant que la bille est en l'air, le tapis a avancé. (b)
- Pendant que la bille est en l'air, elle n'est plus entraînée par le tapis. (c)
- La bille a une vitesse initiale égale à celle du tapis et la résistance de l'air est négligeable. (d)
- Autre :

Question m6

Un avion vole horizontalement à vitesse constante dans le référentiel terrestre supposé Galiléen. Les forces de frottement exercées sur l'avion sont assimilables à une seule force horizontale représentée ci-dessous :

La composante horizontale de la poussée des réacteurs est (en module) :

- plus grande que la force de frottement
- égale à la force de frottement
- inférieure à la force de frottement
- je ne sais pas



Liste de toutes les justifications proposées :

- Si elle n'est pas plus grande, l'avion ne peut pas avancer. (a)
- Pour qu'il vole à vitesse constante, il faut que la somme des forces soit nulle. (b)
- Si la résultante des forces était nulle, l'avion ferait du «sur-place ». (c)
- Autre :

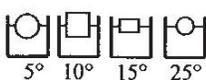
Question p1

Chacun des protocoles expérimentaux suivants permet-il de répondre à la question :

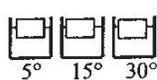
« Un glaçon fond-il plus vite dans l'eau chaude que dans l'eau froide ? »

Les dessins représentent le début des expériences : des glaçons sont plongés dans de l'eau dont la température est indiquée au dessous du récipient.

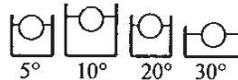
Répondre par oui ou non sous le schéma de chaque protocole expérimental.



Protocole A
 oui non



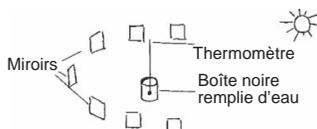
Protocole B
 oui non



Protocole C
 oui non

Question p2

Les fours solaires comportent des jeux de miroirs. Des étudiants savent que cela permet de concentrer les rayons du soleil et ils émettent l'hypothèse que c'est pour « chauffer plus ». Ils réalisent l'expérience suivante :



La température de l'eau au départ était de 22°C, au bout de trente minutes ils relèvent une température de 27°C à l'intérieur du récipient. Cette expérience vérifie-t-elle l'hypothèse de départ ?

- Oui Non

Liste de toutes les justifications proposées :

- Oui, car l'eau est plus chaude qu'au départ. (a)
 Non, car l'eau atteindrait peut-être la même température sans les miroirs. (b)
 Non, car la différence de température n'est pas assez importante. (c)
 Non, car on n'a pas relevé la température de l'air ambiant. (d)
 Oui, car les rayons provenant des miroirs atteignent la boîte noire remplie d'eau. (e)
 Autre :

Question p3

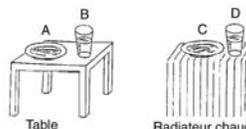
Quand on étudie expérimentalement l'évaporation de l'eau on constate que :

- L'évaporation est d'autant plus rapide que la surface au contact de l'air est grande.
- L'évaporation est d'autant plus rapide que la température est élevée

On verse la même quantité d'eau dans deux assiettes identiques (étiquetées A et C) et dans deux verres étroits identiques (étiquetés B et D).

On les place de la manière suivante :

Assiette A et verre B sur une table dans la salle



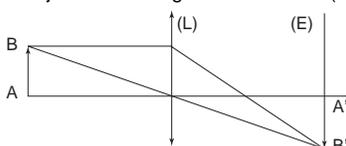
Assiette C et verre D sur un radiateur chaud dans la salle

On veut savoir dans quel ordre les récipients vont se retrouver sans eau. Pour chaque récipient, entourer 1, 2, 3, 4 ou N si on ne peut pas répondre (ne rien entourer si vous ne savez pas répondre).

- L'eau du récipient A va disparaître en 1 2 3 4 N
 L'eau du récipient B va disparaître en 1 2 3 4 N
 L'eau du récipient C va disparaître en 1 2 3 4 N
 L'eau du récipient D va disparaître en 1 2 3 4 N

Question o1

La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).



Que verra-t-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?

- L'image ne change pas.
- L'image va se redresser (\uparrow).
- On n'aura pas d'image et tout l'écran sera éclairé.
- On aura sur l'écran la projection de AB.
- Je ne sais pas.
- Autre

Liste de toutes les justifications proposées :

- L'image ne change pas car l'écran reste en place. (a)
- On n'a pas d'image et tout l'écran est éclairé car la lumière issue de l'objet va dans toutes les directions lorsqu'elle ne traverse pas la lentille. (b)
- Avec la lentille l'image était renversée (\downarrow) donc sans la lentille l'image va se redresser (\uparrow). (c)
- AB ne sera pas déformé car le faisceau lumineux ne traverse que l'air. (d)
- L'écran reste en place. (e)
- La lumière issue de l'objet va dans toutes les directions lorsqu'elle ne traverse pas la lentille. (f)
- La lentille renversait l'image. (g)
- Le faisceau lumineux ne traverse que l'air. (h)
- Autre :

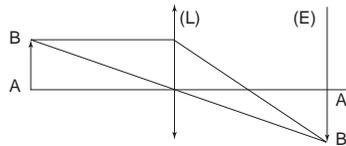
ANNEXE 3 : Questionnaires posés en mai 2004

Chaque questionnaire a été posé à 84 élèves de Terminale S de quatre lycées différents (quatre classes du lycée International de Strasbourg (67), une classe du lycée Mangin de Sarrebourg (57), une classe du lycée Chopin de Nancy (54) et une classe du lycée Les Pannevelles de Provins (77)).

QUESTIONNAIRE A3

Question d'optique (o1)

La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).



Que voit-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?

- L'image ne change pas.
- L'image se redresse (↑).
- On ne voit plus d'image.
- On voit sur l'écran la projection de AB.
- Je ne sais pas.

Comment justifiez-vous votre réponse ?

- La lumière issue de l'objet va dans toutes les directions.
- Le faisceau lumineux ne traverse que l'air.
- L'écran reste en place.
- La lentille renversait l'image.
- Autre :

Question de mécanique (m1)

Si la vitesse d'un corps de masse m est nulle à un instant donné,

- son accélération est nulle à cet instant
- son accélération ne peut pas être nulle
- on ne peut rien conclure sur son accélération
- je ne sais pas conclure sur son accélération

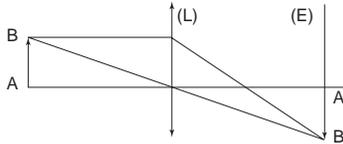
Comment justifiez-vous votre réponse ?

- Il n'y a pas de mouvement, alors l'accélération est nulle.
- La vitesse et l'accélération ne peuvent pas s'annuler en même temps.
- Il faudrait connaître la vitesse un peu avant ou un peu après pour connaître l'accélération.
- Si la vitesse est nulle, la résultante des forces est nulle et l'accélération est nulle.
- Si la vitesse v est nulle, alors sa dérivée $dv/dt = 0$ et donc l'accélération est nulle.
- Autre :

QUESTIONNAIRE B3

Question d'optique (o1)

La figure ci-dessous schématise une situation qui se déroule dans une pièce non éclairée où seul AB est un objet lumineux (par exemple, un filament d'une ampoule) et (L) représente une lentille convergente. La lentille (L) donne de l'objet AB une image A'B' sur l'écran (E).



Que voit-on sur l'écran (E) si on enlève la lentille (L) sans modifier la position de l'objet et de l'écran ?

- L'image ne change pas.
- L'image se redresse (↑).
- On ne voit plus d'image.
- On voit sur l'écran la projection de AB.
- Je ne sais pas.

Comment justifiez-vous votre réponse ?

- L'image ne change pas car l'écran reste en place.
- Avec la lentille l'image était renversée (↓) donc sans la lentille l'image se redresse (↑).
- On ne voit pas d'image car la lumière issue de l'objet va dans toutes les directions.
- AB se projette sur l'écran car le faisceau lumineux ne traverse que l'air.
- Autre :

Question de mécanique (m1)

Si la vitesse v d'un corps de masse m est nulle à un instant donné,

- son accélération est nulle à cet instant
- son accélération ne peut pas être nulle
- on ne peut rien conclure sur son accélération
- je ne sais pas conclure sur son accélération

Comment justifiez-vous votre réponse ?

- Il n'y a pas de mouvement, alors l'accélération est nulle.
- La vitesse et l'accélération ne peuvent pas s'annuler en même temps.
- Il faudrait connaître la vitesse un peu avant ou un peu après pour connaître l'accélération.

Si la vitesse v est nulle, la résultante des forces est nulle et l'accélération est nulle.

Autre :

ANNEXE 4 : Résultats des différents questionnaires

- Questionnaires A1 et B1 posés en octobre 2002 (lors de l'étude préliminaire)

		m1	m2 ¹	m3 ²	m4	m5	m6	p1 ³	p2	p3 ³	o1
Pourcentage de bonnes réponses justifiées	Questionnaire A1 (sans double QCM)	10	51	22	19	27	24	52	33	39	27
	Questionnaire B1 (avec double QCM)	31	36	17	36	18	29	47	30	35	47

- Questionnaires A2, B2, C2 et D2 posés en octobre 2003

		m1	m2 ¹	m3 ²	m4	m5	m6	p1 ³	p2	p3 ³	o1
Pourcentage de bonnes réponses justifiées	Questionnaire A2 (sans double QCM)	11	50	19	10	27	17	59	34	35	21
	Questionnaire B2 (avec double QCM)	23	44	21	15	33	22	46	30	28	44
	Questionnaire C2 (avec double QCM)	23	63	11	6	25	30	51	53	26	44
	Questionnaire D2 (avec double QCM)	26	60	7	16	26	20	50	46	30	48

- Questionnaires A3 et B3 posés en mai 2004

		m1	o1
Pourcentage de bonnes réponses justifiées	Questionnaire A3	19	21
	Questionnaire B3	36	46

NOTES

(1) Dans la question m2, il y a uniquement une justification demandée, le pourcentage donné est le pourcentage de bonnes justifications.

(2) Dans la question m3, il n'y a pas de justification demandée dans le questionnaire B1 (avec double QCM), les pourcentages donnés en 2002 sont les pourcentages de bonnes réponses (pourcentage de bonnes réponses justifiées du questionnaire A1 : 9 %).

(3) Dans les questions p1 et p3, il n'y a jamais de justification demandée, les pourcentages donnés sont les pourcentages de bonnes réponses.



Argumentation sur des questions socio-scientifiques

Argumentation on socioscientific issues

**Argumente
zu sozialwissenschaftliche Fragen**

Argumentacion sobre cuestiones sociocientíficas

**Laurence Simonneaux
et Jean Simonneaux,**

École nationale de formation agronomique de Toulouse,
unité propre : « Didactique des questions scientifiques,
économiques et sociales émergentes ».

Résumé

Enseigner des questions socio-scientifiques controversées pour permettre aux élèves de participer aux débats sur ces questions est un enjeu essentiel aujourd'hui et un défi difficile à relever. Le but de cette recherche est d'analyser les possibilités d'amélioration des capacités argumentatives d'élèves de niveau baccalauréat dans le cadre d'un dispositif de formation centré sur une analyse interdiscursive de textes divergents, traitant de questions socio-scientifiques controversées. Les élèves du groupe expérimental reçoivent cette formation. Une grande partie d'entre eux développe à l'écrit en post-test des arguments plus construits. Mais la formation n'influe pas sur la qualité de l'argumentation orale évaluée dans un débat ; celle-ci semble plus influencée par des facteurs personnels et sociaux.

Le débat a été étudié à partir d'analyses à différents grains : analyse de la macrostructure du débat mettant en évidence les thématisations développées, analyse des arguments fondés sur des raisonnements disciplinaires ou des procédures rhétoriques, suivi de la logique des discours d'élèves singuliers, analyse au grain le plus fin des modalisations employées.

Mots-clés : Argumentation, questions socio-scientifiques, OGM, analyse interdiscursive.

Abstract

The aim of the present work is to increase students' argumentation skills on socioscientific issues. To improve the pertinence of students' arguments on socioscientific issues, we tried to train students to make an interdiscursive analysis of the train of thought of different persons with differing views. It is a quasi experimental case study. The students in the experimental group, which underwent the training between pre-testing and post-testing, were found to have developed more sophisticated arguments, while the quality of the arguments in the reference group did not vary between pre-testing and post-testing. On the other hand the training did not appear to affect the quality of oral argumentation in a following debate which seems to be influenced more by personal and social factors.

Key words: Argumentation, socioscientific issues, GMO, interdiscursive analysis.

Zusammenfassung

Umstrittene sozialwissenschaftliche Fragen zu unterrichten, um den Schülern zu ermöglichen, an den Debatten über diese Fragen teilzunehmen, ist ein wesentlicher Einsatz von unserer Zeit und eine schwer anzunehmende Herausforderung. Das Ziel dieser Arbeit ist zu untersuchen, wie die Argumentationsfähigkeiten von Schülern der Abiturklasse verbessert werden

können. Die Untersuchung wird im Rahmen einer Ausbildungssequenz durchgeführt, die sich um die interdiskursive Analyse von divergierenden, verschiedene umstrittene sozialwissenschaftliche Fragen behandelnden Texten dreht. Die Schüler der Experimentalgruppe erhalten diese Ausbildung. Ein großer Teil von ihnen entwickelt in einem schriftlichen Post-Test besser aufgebaute Argumente. Aber die Ausbildung hat keinen Einfluss auf die Qualität der mündlichen Argumentation, die in einer Debatte bewertet wird; diese Qualität scheint mehr von persönlichen und sozialen Faktoren beeinflusst zu werden. Die Debatte wurde durch Analysen verschiedener Körnung untersucht: Analyse der Makrostruktur der Debatte, die die entwickelten Thematisierungen hervorhebt, Analyse der auf fachbezogenen Gedankengängen oder rhetorischen Verfahren basierenden Argumente, Überwachung der Logik der einzelnen Schüleraussagen, feinkörnigste Analyse der angewendeten Modalisierungen.

Schlüsselwörter: Argumentation, sozialwissenschaftliche Frage, GVO, interdiskursive Analyse.

Resumen

Enseñar cuestiones sociocientíficas controvertidas para permitir a los alumnos participar en los debates sobre estas cuestiones es una apuesta esencial hoy en día y un reto difícil de cumplir. La meta de esta investigación es analizar las posibilidades de mejorar las capacidades argumentativas de alumnos del selectivo francés en el ámbito de un dispositivo de formación centrado en un análisis interdiscursivo de textos discrepantes que tratan de cuestiones sociocientíficas controvertidas. Los alumnos del grupo experimental reciben esta formación. Una gran parte de ellos desarrolla por escrito durante la prueba final argumentos más contruidos. Pero la formación no influye en la calidad de la argumentación oral evaluada en un debate ; esta última parece más influida por factores personales y sociales. El debate ha sido estudiado a partir del análisis de tres niveles : análisis de la macroestructura del debate que pone en evidencia los tipos de temas desarrollados, análisis de los argumentos fundados sobre razonamientos disciplinarios o procedimientos retóricos, seguimiento de la lógica de discursos de alumnos singulares y análisis, en el nivel más fino, de las modalizaciones empleadas.

Palabras clave: Argumentación, cuestión sociocientífica, OGM, análisis interdiscursivo.

INTRODUCTION

Ce travail se veut tout d'abord une contribution aux recherches menées en didactique des sciences sur l'enseignement des questions socio-scientifiques controversées. Dans un premier temps, nous présenterons les champs de recherche en didactique sur les questions socio-scientifiques, en particulier sur les OGM ; dans un second temps, étant donné l'enjeu essentiel que nous attribuons à l'enseignement de ces questions (former des élèves capables de participer aux débats sur les OGM), nous centrerons notre propos sur l'argumentation et les débats en classe.

Une recherche de type quasi-expérimental¹ sera présentée. Deux catégories de production des élèves seront analysées : une production écrite composée de deux questionnaires renseignés avant et après l'expérimentation, une production orale constituée d'un débat.

1. LES QUESTIONS SOCIO-SCIENTIFIQUES

Un des buts de l'enseignement des sciences est de développer chez les élèves la compréhension de l'interdépendance entre la société et la science. C'est le courant éducatif connu sous le nom de « sciences technologiques Société » (STS) depuis les années 1980 en Amérique du Nord (Aikenhead, 1986, 1989 ; Eijkelhof & Linjse, 1988 ; Bybee, 1987). Le mouvement STS s'est construit autour du fait que la connaissance par les élèves des influences mutuelles entre la science, la technologie et la société favorise la motivation des élèves qui considèrent alors l'importance des contenus scientifiques dans leur vie personnelle. Traditionnellement, pour Zeidler *et al.* (2004), le mouvement STS a porté sur l'étude des controverses, mais sans réellement exploiter la puissance didactique des discours, de l'argumentation, de la prise en compte de la nature de la science, des connexions émotives, culturelles ou épistémologiques au cœur de ces questions. Nous nous intéressons à l'enseignement des questions scientifiques controversées.

Des didacticiens anglo-saxons ont introduit la notion de « socioscientific issues » pour décrire des dilemmes sociaux liés à des domaines scientifiques (Gayford, 2002 ; Kolsto, 2001 ; Sadler *et al.*, 2004 ; Zeidler *et al.*, 2002). Il s'agit de questions à propos desquelles les opinions divergent et qui ont des implications dans au moins un des domaines suivants : biologie, sociologie, éthique, politique, économie, environnement. Les questions socio-biologiques font l'objet de controverses, notamment à propos des risques qui y sont attachés. Face aux recherches en biologie conduisant à la production de

(1) Terme utilisé en sciences de l'éducation pour distinguer les recherches en sciences humaines de type expérimental, mais dont il est bien entendu impossible de maîtriser toutes les variables, comme on peut le faire en sciences expérimentales.

technosciences, face aux risques environnementaux émanant de la société moderne, émerge en didactique de la biologie une nécessaire didactique des questions socio-biologiques.

L'enjeu éducatif est de permettre aux élèves de développer une opinion informée sur ces questions, d'être capables de faire des choix en matière de prévention, d'action, d'utilisation et d'être capables d'en débattre. Pour cela, il convient entre autres que les élèves comprennent les contenus scientifiques impliqués, leur épistémologie, et identifient les controverses à leur sujet, analysent leurs répercussions sociales (et économiques, politiques, éthiques...). Une personne « alphabétisée »² en biologie devrait être capable de comprendre les débats sur une question socio-biologique. Ce n'est pas si simple car la plupart des problèmes rencontrés dans la société moderne exige pour leur résolution plus qu'une solution scientifique, c'est-à-dire la prise en considération des implications sociales qui accompagnent les décisions fondées sur la science (Sadler *et al.*, 2004 ; Zeidler *et al.*, 2002).

Etant donné l'importance croissante de nombreuses questions socio-biologiques dans notre société moderne, chaque élève est ou sera confronté à des prises de décision sur ces questions. L'école doit donc l'y préparer.

Les biotechnologies à vocation agricole, notamment les OGM, sont des technosciences controversées. Elles suscitent des questions socialement « vives », pour reprendre l'expression de Legardez et Alpe (2001). Nous nous appuyons sur leur définition pour identifier des questions triplement socialement vives :

- elles sont vives parce qu'elles suscitent des débats dans la production des savoirs savants de référence ;
- elles sont vives parce qu'elles sont prégnantes dans l'environnement social et médiatique, et que les acteurs de la situation didactique (élèves et enseignants) ne peuvent y échapper ;
- elles sont vives enfin parce qu'en classe, les enseignants se sentent souvent démunis pour les aborder.

Se pose alors, comme le souligne Edgar Morin (1998), « le problème historique, désormais capital, de la démocratie cognitive ». Les questions socio-biologiques s'avèrent « *polydisciplinaires* » (Morin, 1998), multidimensionnelles et, avec la mondialisation croissante, planétaires. L'enseignement de ces questions socio-biologiques s'inscrit, nous semble-t-il, dans la mission qu'Edgar Morin attribue à l'enseignement, qui doit être fondé sur « la nécessité de fortifier l'aptitude interrogative et de lier le savoir au doute ; l'aptitude à

(2) Pour reprendre l'expression consacrée à l'Alphabétisation scientifique et technique (AST), « *literate* » en anglais.

intégrer le savoir particulier dans un contexte global et dans sa propre vie ; l'aptitude à affronter les problèmes fondamentaux de sa propre condition et de son propre temps. »

Des recherches internationales en didactique des biotechnologies, menées dans une approche socio-constructiviste, ont cherché à identifier les connaissances des élèves (Simonneaux, 1999, 2000a, 2000b ; Simonneaux *et al.*, 1999 ; Lewis *et al.*, 1998, 1999 ; Lewis & Wood-Robinson, 2000 ; Wood-Robinson *et al.*, 1998). Les études portent sur différentes catégories de connaissances :

– sur les connaissances biologiques de base nécessaires à la compréhension scientifique des biotechnologies. Nous insistons sur la nature scientifique de ce type de compréhension, car le public, ignorant des fondements biologiques des biotechnologies et ignorant des procédures biotechnologiques, peut comprendre et cerner les enjeux et les risques des applications biotechnologiques. Selon les études, il peut s'agir de connaissances en biologie cellulaire, en biologie de la reproduction, en embryogénèse, en génétique, en immunologie...

– sur les procédures mises en œuvre dans les biotechnologies, les limites scientifiques et techniques, les rendements obtenus, les coûts, les applications, ... Bien sûr, selon les études, différentes biotechnologies sont envisagées. Toutefois, dans la littérature, ce sont sur les biotechnologies médicales et agricoles que porte l'essentiel des recherches.

Il peut s'agir d'études synchrones s'intéressant à l'état des connaissances d'élèves de différents niveaux de formation, ou d'approches diachroniques, notamment pour évaluer l'impact d'un événement médiatique (par exemple la naissance de Dolly). Ces types d'investigation font appel à des méthodologies classiques : QCM, questions écrites ouvertes, entretiens.

Les recherches révèlent que les élèves du secondaire possèdent des connaissances très lacunaires dans les champs biologiques concernés. Les confusions terminologiques sont fréquentes bien qu'ils utilisent un jargon scientifique qui ne fait que prouver qu'ils possèdent un vernis lexical. De nombreux didacticiens des sciences ont évoqué ce vernis lexical utilisé par des élèves qui ne maîtrisent pas les contenus sémantiques du lexique. Les procédures mises en œuvre, les limites scientifiques et techniques, les rendements obtenus, les coûts des biotechnologies sont largement inconnus. Par contre, les principes de base de certaines biotechnologies (clonage, transgénèse) sont cités : reproduction à l'identique d'un individu, transfert de « quelque chose de génétique » d'un individu à un autre. Si les élèves identifient quelques applications, ils ne cernent pas la gamme des applications éventuelles des biotechnologies.

Les chercheurs en didactique des biotechnologies ont recours également à l'étude des attitudes et des opinions des individus, étude ancrée dans

des approches de nature sociologique. Elles sont souvent combinées à des investigations sur l'état des connaissances scientifiques (Lock & Miles, 1993 ; Leach *et al.*, 1996 ; Simonneaux, 1997, 1999 ; Simonneaux *et al.*, 1999). Les problématiques de recherche s'articulent autour de la question : « les opinions et les attitudes sont-elles fondées sur des connaissances scientifiques ? »

À l'instar de Lewis *et al.* (1998), nous utilisons le terme « opinion » pour désigner les valeurs attachées à des questions particulières dans des contextes spécifiques, et le terme « attitude » en référence à des valeurs d'ordre plus général. Par exemple, à propos de la transgénèse animale : considérer que la fabrication de vaches transgéniques capables de produire du lait humanisé dans les pays industrialisés est inacceptable est une « opinion » ; considérer que produire des animaux transgéniques est éthiquement inacceptable quelles que soient les circonstances est une « attitude ».

Les élèves expriment des « attitudes », voire des « opinions », même s'ils ne maîtrisent pas les connaissances de base. Les « opinions » vis-à-vis des biotechnologies ne sont pas homogènes. Elles dépendent des applications considérées, du contexte envisagé, de l'organisme, du but poursuivi. Ainsi les biotechnologies médicales sont les mieux acceptées et les biotechnologies agricoles et agroalimentaires les plus controversées. Et les biotechnologies végétales sont mieux acceptées que les biotechnologies animales. Le rapport au vivant est différencié : l'homme s'identifie plus à l'animal, surtout s'il s'agit d'un mammifère, qu'à une plante. Lorsqu'il s'agit de mammifères, ce sont le bien-être animal ou le maintien du télos de l'animal (c'est-à-dire la préservation de la nature essentielle de l'animal) qui sont les arguments les plus mis en avant. Lorsqu'il s'agit de poissons par exemple, c'est l'écosystème qui est en danger. Bien d'autres questions sont soulevées, comme par exemple le caractère antinaturel des manipulations, le caractère blasphématoire, la sécurité sanitaire et environnementale. Selon les applications, les opinions sont plus ou moins nuancées chez les mêmes individus. Elles peuvent par exemple être tranchées et négatives sur le clonage animal et ambivalentes sur le dépistage génétique.

L'analyse de différentes situations d'enseignement en classe ou de visites d'expositions scientifiques montre que l'appropriation de connaissances modifie peu ou pas les opinions des élèves sur les questions vives d'actualité (Simonneaux, 1995 ; Simonneaux & Bourdon, 1998). Les opinions préexistent et sont difficilement ébranlables : elles ne se fondent pas sur les connaissances, mais plus souvent sur les conceptions de la nature et les valeurs individuelles. Ceci contredit l'idée de certains chercheurs ou de firmes pour qui les individus rejettent les technosciences par peur et méconnaissance : il suffit donc de bien les informer, de les « alphabétiser » pour modifier leurs attitudes.

La fabrication d'OGM est une technoscience sujette à débat dans la recherche et dans la société. Nous proposons de la mettre en débat en classe. Elle est caractérisée par un manque de consensus entre les chercheurs, notamment sur les risques et les effets environnementaux. Par exemple, une controverse porte sur les répercussions des OGM dans les pays en voie de développement. Il nous paraît important de mettre en œuvre des situations-débats en classe dans lesquelles les déclarations des différents chercheurs, des institutions et des journalistes sont débattues et examinées. L'enjeu éducatif est de développer les compétences argumentatives des élèves pour qu'ils puissent participer à d'autres débats.

2. ARGUMENTATION ET DÉBATS EN CLASSE

Nous pensons qu'une connaissance se construit au cours du débat, au cours des échanges langagiers. Selon Vygotski (1985), les processus mentaux ont une origine sociale et la transition entre « l'inter-personnel » et « l'intra-personnel » s'opère grâce à l'intériorisation progressive des processus sémiotiques, « c'est-à-dire le passage des formes d'activité sociale, collective de l'enfant à des facteurs individuels. Ce passage est une loi générale du développement de toutes les fonctions psychiques supérieures, qui apparaissent initialement comme des formes de l'activité en collaboration ». C'est le fondement du paradigme socio-constructiviste. Ensuite l'attention portée aux interactions adulte-enfant par Vygotski, puis Bruner (1983) s'est étendue aux interactions entre pairs (Doise & Mugny, 1981). Ainsi il nous semble qu'engager au sein d'une classe un débat peut conduire à la construction de connaissances au niveau individuel. Le débat mis en œuvre dans cette expérimentation ne vise pas la négociation d'un conflit, mais plutôt un progrès cognitif sur l'évaluation de la mise en place des OGM. Ce débat vise une co-construction du savoir. Il porte sur un savoir qui n'est pas donné, mais qui doit se construire.

Dans le cadre de l'enseignement des sciences, le débat permet d'améliorer la compréhension conceptuelle³, de favoriser la compréhension de l'épistémologie des sciences, de développer les compétences d'investigation (notamment dans les travaux pratiques), d'améliorer les prises de décision sur des questions socio-scientifiques (Bandiera & Bruno, 2005 ; Colucci *et al.*, 2001 ; Driver *et al.*, 2000 ; Gayford, 1993 ; Geddis, 1991 ; Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2000 ; Kolsto, 2000 ; Kortland, 1996 ; Osborne, 1999 ; Ratcliffe, 1996 ; Simonneaux, 2001 ; Solomon, 1992). Le travail présenté ici

(3) De nombreux travaux ont été menés dans ce domaine au cours des dernières années. Citons, par exemple, la recherche associative IUFM-INRP (de 2000 à 2003) : « Argumentation et démonstration dans les débats et discussions en classe », coordonnée par Colomb et Douaire.

s'inscrit dans cette dernière catégorie. Il s'agit de développer l'argumentation des élèves sur les conséquences des applications biotechnologiques pour qu'ils puissent participer aux débats sociétaux sur cette problématique. Nous ne voulons pas étudier le débat scientifique en classe sur des savoirs plus ou moins stabilisés, mais le débat sur une question socio-scientifique vive. Du fait même de sa nature, ce dernier ne se cantonne pas dans une approche disciplinaire. Les savoirs impliqués constituent des « îlots de rationalité », comme les désigne Fouriez (1997), qui sont interdisciplinaires et plus ou moins grands selon la taille du contexte sociétal envisagé.

Les élèves sont porteurs d'argumentations façonnées par les médias ou leur milieu socio-culturel. Il s'agit de favoriser une prise de distance vis-à-vis de ces discours et d'aider à l'émergence d'une parole autonome et informée. Et au-delà, l'argumentation est un véritable produit d'apprentissage : au cours du travail argumentatif se construit une connaissance.

Cette mise en situation problématique génère des difficultés du côté des élèves : au-delà de l'argumentation à développer pour convaincre ou persuader l'autre, les élèves sont dans une situation potentielle de conflit inter-subjectif et intra-subjectif car ils ne sont pas forcément d'accord avec les arguments des autres élèves et ils peuvent être amenés à devoir changer de point de vue. Les enseignants, de leur côté, doivent changer de posture pour devenir des gestionnaires de débat, au lieu d'être ceux qui savent.

L'analyse des débats peut s'appuyer sur les théories de l'argumentation, qui permettent de décrire des structures argumentatives de base (Toulmin, 1958 ; Adam, 1990, 1992 ; Plantin, 1990, 1996), de distinguer divers types d'arguments (Perelman & Olbrechts-Tyteca, 1988), de définir diverses formes de la réfutation (Apothéloz, Brandt & Quiroz, 1992), de mettre en évidence le rôle des connecteurs et des marqueurs d'orientation argumentative (Anscombe & Ducrot, 1983). Dans l'argumentation, le sens d'un énoncé contient une allusion à son éventuelle continuation (Ducrot, 1980). L'énoncé espère orienter le discours ultérieur. Anscombe et Ducrot (1983) parlent « d'argumentation dans la langue ». Selon eux, « tous les énoncés d'une langue se donnent, et tirent leur sens du fait qu'ils se donnent, comme imposant à l'interlocuteur un type déterminé de conclusions ». Toute parole est « publicitaire par le fait que sa valeur interne se confond avec la suite qu'elle réclame ». Dans l'analyse fine d'extraits d'épisodes, nous avons cherché à identifier les schémas d'inférence argumentative véhiculés dans la langue. Dans la structure d'un énoncé, on peut repérer des marques, « morphèmes, expressions ou tournures qui, en plus de leur contenu informatif, servent à donner une orientation argumentative à l'énoncé, à entraîner le destinataire dans telle ou telle direction » (Ducrot, 1980).

Mais qu'est-ce qu'une bonne argumentation ? Une argumentation fondée sur plusieurs arguments, sur la discussion d'arguments contradictoires, ou sur un argument décisif ? Différentes recherches ont proposé des

grilles d'évaluation de l'argumentation en sciences et le sujet est loin d'être épuisé (Driver *et al.*, 2000 ; Naylor *et al.*, 2001 ; Walker & Zeidler, 2004 ; Zohar & Nemet, 2002)

Ratcliffe (1996) a proposé une grille comprenant six niveaux pour analyser les prises de décision à l'issue de débats. Les six niveaux sont : prise en considération des options, identification de critère dans le choix d'une option, recherche d'information disponible, prise en considération de chaque option, prise de décision entre les différentes options, réflexion sur le processus de prise de décision.

Peu de temps avant son décès, Driver, avec Newman (1997), a présenté un programme de recherche sur l'argumentation en science. Elle a proposé une grille pour évaluer la qualité des arguments :

Caractéristiques de l'argument	Niveau
Une seule déclaration sans raisons	0
Plusieurs déclarations en compétition sans raisons	0
Une seule déclaration avec une ou des raison(s)	1
Des déclarations en compétition avec des raisons	2
Des déclarations en compétition avec des raisons et des qualificatifs	3
Une ou des déclaration(s) avec des raisons en réponse à une réfutation	2
Un jugement intégrant différents arguments	4

À partir de recherches précédentes sur des débats en classe, elle a proposé une liste pour évaluer les procédures des groupes. La liste inclut des critères épistémologiques et sociaux :

1. Recherche d'information et de preuve
2. Questionnement sur les raisons des autres
3. Recherche de lien entre preuve et déclaration
4. Construction des arguments de chacun
6. Encouragement de la présentation des différentes idées
7. Distinction entre déclarations scientifiques et celles basées sur d'autres types de savoirs
8. Reconnaissance de l'influence des valeurs personnelles sur les décisions
9. Emploi de tactiques pour aider la démarche du groupe
10. Essai de coordination des différentes perspectives.

Zohar & Nemet (2002) ont cherché à évaluer l'impact d'une formation à l'argumentation à propos de dilemmes éthiques en génétique. La formation a porté sur trois aptitudes : proposer une théorie, fournir des justifications et réfuter une théorie alternative. Ces auteurs ont examiné comment les connaissances biologiques ont été prises en considération. Quatre catégories ont été définies :

1. Aucune connaissance biologique n'a été prise en considération
2. Les étudiants ont utilisé leurs connaissances biologiques à contresens
3. Les étudiants ont considéré leurs connaissances biologiques de façon générale, non spécifique
4. Les étudiants ont utilisé leurs connaissances biologiques de façon spécifique et correcte.

La formulation des arguments a été évaluée selon trois catégories :

1. La déclaration comporte une conclusion sans raisons
2. La déclaration comporte une conclusion avec une pseudo-raison
3. La déclaration comporte une conclusion et au moins une raison.

Enfin la structure des arguments a été évaluée selon trois catégories :

1. Structure ne comportant pas d'argument
2. Structure simple comprenant une conclusion supportée par au moins une raison
3. Structure composite dans laquelle la raison est supportée par une autre raison.

L'ensemble des catégories utilisées par Zohar & Nemet (2002) est fondé sur les travaux de Means & Voss (1996). Zohar & Nemet ont également compté le nombre de justifications par argument et par contre-argument. Zohar & Nemet (2002) ont organisé des débats avant et après la formation. Elles ont observé une diminution de la fréquence des déclarations, une augmentation de la fréquence de déclarations explicites, une augmentation du nombre moyen de justifications par déclaration, une augmentation du nombre d'interventions par minute (les prises de parole sont plus longues et plus complexes après la formation).

On voit, à travers ces quelques exemples pris dans la littérature, que les critères d'évaluation de la qualité de l'argumentation sont loin d'être stabilisés. Des recherches sur les modalités de formation à l'argumentation et sur l'évaluation de l'argumentation méritent d'être poursuivies.

Diverses situations-débats ont été étudiées. Kolsto (2000) a proposé un modèle de « consensus project » qui met l'accent sur la critique et l'éva-

luation des faits et opinions. Il s'est inspiré des conférences de consensus mises en œuvre dans plusieurs pays : des citoyens « candides » interrogent des « experts » et tentent d'élaborer ensemble un consensus sur la controverse en question. Dans son étude, des étudiants doivent rassembler des savoirs, informations et opinions sur une question scientifique controversée ayant des retombées sociales. Une partie des étudiants forme le groupe « d'experts » qui travaillent sur un seul aspect de la question. Un autre groupe joue le rôle des citoyens « candides » qui, aidés par l'enseignant, préparent des questions et identifient les valeurs sur lesquelles peuvent reposer les points de vue. Ils questionnent les « experts » après leurs exposés (où les experts ont-ils trouvé les informations ? Quelle est leur pertinence ?) A l'issue de la procédure, les « candides » doivent rédiger une recommandation publique et les « experts » des rapports.

De son côté, l'équipe de Désautels (1995) a construit un ensemble d'activités pédagogiques autour de la simulation d'une controverse sur le projet HUGO (HUMAN Genome Organization). Une longue stratégie, nécessaire selon les auteurs pour que les étudiants développent les compétences espérées, a été mise en place. De nombreuses informations, tant scientifiques que socio-éthiques, leur ont été fournies, ainsi qu'une banque d'articles ; ils devaient rédiger un journal personnel en tenant compte des mémos qui leur étaient distribués (ayant pour thèmes : « normalité et perfection », « à propos de la thérapie génétique », « la décision médicale »...). Ils ont été préparés au jeu de rôle par une sensibilisation aux techniques de l'art dramatique.

Le modèle de Toulmin (1958) a été particulièrement utilisé par les didacticiens des sciences (Jimenez-Aleixandre et al., 1997 ; Osborne *et al.*, 2001 ; Orange, 2003). Toulmin identifie les « données » (ce sont les faits rapportés par ceux qui développent une argumentation, en vue d'étayer leur conclusion), la « conclusion », les « garanties » qui justifient les liens entre les données et la conclusion, les « fondements » (ce sont les fondements généralement admis qui appuient les justifications). Le schéma de base est : parce que (« données »), vu que (« garantie »), en vertu de (« fondement »), donc (« conclusion »). Dans des argumentations plus complexes, Toulmin identifie les « restrictions » qui précisent les conditions dans lesquelles la « conclusion » peut être considérée comme vraie, c'est-à-dire les limites de la « conclusion », et les « réfutations » qui précisent les conditions dans lesquelles une « conclusion » ne sera pas vraie. Les qualificatifs modaux (par exemple : vraisemblablement) articulent les conditions d'exception ou de réfutation de la conclusion.

Un certain nombre de limites ont été attribuées au modèle de Toulmin : non-intégration de la dimension dialogique⁴ (Golder, 1996), schéma trop pauvre qui ne permet pas de rendre compte des processus de dilatation

(4) Essentielle dans des débats portant sur des controverses socio-scientifiques.

(Brassart, 1987), difficulté à inférer le schéma à partir des discours elliptiques des élèves (Naylor *et al.*, 2001 ; Weisser, 2005)⁵. Jimenez-Aleixandre *et al.* (1997) ont analysé un débat entre élèves sur un problème concret en génétique à partir du modèle de Toulmin. Ils ont trouvé que les arguments étaient peu complexes, que souvent les garanties n'étaient pas explicites et que les confusions conceptuelles affectaient la qualité des arguments. Ils ont identifié des facettes des arguments qui ne pouvaient pas être prises en compte par le modèle de Toulmin (par exemple des opérations épistémiques et l'influence de la culture scolaire sur les arguments produits par les élèves).

Le modèle de Toulmin peut cependant aider à l'amélioration de la qualité de l'argumentation des élèves : « le mouvement argumentatif complet est mis en scène de façon structurante, ce qui autorise un éventuel travail méta-cognitif avec les élèves » (Weisser, 2005).

C'est ainsi qu'Osborne *et al.* (2001) s'appuient sur l'apprentissage du schéma de Toulmin pour améliorer la qualité de l'argumentation des élèves sur des contenus scientifiques, notamment dans des démarches expérimentales menées avec les élèves.

Ce procédé ne nous a pas paru le mieux adapté pour améliorer l'argumentation dans des débats sur des questions socio-scientifiques controversées. Nous avons essayé de former les élèves à l'argumentation à travers l'analyse interdiscursive de discours produits par différents acteurs aux points de vue divergents, en mettant l'accent en particulier sur les modalisations et les marques d'énonciation par lesquelles les locuteurs signalent la manière dont ils assument le contenu de leur propos, les choix de thématisation, les contenus axiologiques ou prescriptifs.

L'utilisation des modalisations marque l'orientation d'un énoncé argumentatif. La modalisation est le fait de modaliser un énoncé, c'est-à-dire de produire une marque ou un ensemble de marques formelles par lesquelles le sujet de l'énonciation exprime sa plus ou moins grande adhésion au contenu de l'énoncé.

Depuis Aristote, de multiples classements des sortes de modalisation ont été proposés. Bronkard (1996) retient quatre catégories :

- « les modalisations logiques, qui consistent en jugements relatifs à la valeur de vérité des propositions énoncées ; celles-ci sont présentées comme certaines, possibles, probables, indécidables, etc. ;
- les modalisations déontiques, qui évaluent ce qui est énoncé à l'aune des valeurs sociales ; les faits énoncés sont présentés comme (socialement) permis, interdits, nécessaires, souhaitables, etc. ;

(5) Le degré d'inférence requis à partir de l'implicite induit un risque non négligeable d'erreurs.

- les modalisations appréciatives, qui traduisent un jugement plus subjectif ; les faits énoncés sont présentés comme heureux, malheureux, étranges, aux yeux de l'instance qui évalue ;
- et les modalisations pragmatiques, qui introduisent un jugement relatif à l'une des facettes de la responsabilité d'un personnage eu égard au procès dont il est l'agent ; ces facettes sont notamment la capacité d'action (le pouvoir-faire), l'intention (le vouloir-faire) et les raisons (le devoir-faire). »

3. UNE ÉTUDE DE CAS SUR LES OGM : MÉTHODE

Population concernée

L'étude, de type quasi-expérimental, s'est déroulée avec une classe de 24 élèves de l'enseignement agricole de niveau baccalauréat sciences et technologies de l'agronomie et de l'environnement.

Nous avons relevé les moyennes des élèves en français, philosophie, biologie, agronomie afin d'identifier d'éventuels liens entre leurs réussites et échecs scolaires dans ces disciplines et la qualité de leur argumentation sur les OGM. À l'issue de l'expérimentation, l'enseignante principale nous a fourni des informations concernant des caractéristiques socio-culturelles des élèves (s'ils sont engagés dans des luttes environnementales par exemple) et de brefs entretiens ont été menés avec les élèves sur l'origine socio-professionnelle de leurs parents.

Protocole

Le protocole s'est déroulé en trois temps.

Dans un premier temps, deux textes (T1, T2) présentant des positions divergentes ont été distribués aux élèves. Ils ont donné par écrit leur propre avis argumenté, ce qui a constitué le pré-test, et énoncé les informations qu'ils souhaiteraient avoir. Les élèves ont ensuite été classés en fonction de leur argumentation. La qualité de l'argumentation a été mesurée par le nombre d'arguments valides développés et le nombre d'argumentations plurielles. Deux groupes ont été constitués : le groupe expérimental et le groupe témoin, chacun composé d'élèves « bons argumentateurs » (au moins trois argumentations plurielles développées) et « mauvais argumentateurs » (un seul argument simple développé). De cette façon, les deux groupes comprenaient des élèves de niveau équivalent sur le plan de l'argumentation.

Dans un second temps, une semaine plus tard, les élèves du groupe expérimental ont participé à l'analyse interdiscursive de deux nouveaux textes (T3, T4) présentant des positions divergentes.

L'analyse s'est d'abord fondée sur la présentation, par l'un des auteurs de cette recherche, des caractéristiques sociale et physique de la production des discours (qui parle ? Quels sont les enjeux ? Quel est le contexte ? Etc.). Puis il a été demandé aux élèves d'identifier dans les deux textes l'argumentation développée (type d'argument, validité, force, justification, etc.). Les textes analysés étaient reproduits sous forme de transparents. Le chercheur a noté sur ceux-ci les arguments cités par les élèves et il a animé une discussion orale sur leur validité, leur force et leur justification en expliquant ces notions. Enfin le chercheur a fait un exposé sur le repérage des marques d'argumentation dans la langue, notamment les modalisations.

Il a été demandé aux élèves de souligner dans les textes les modalisations, en utilisant un code des couleurs. Le chercheur a demandé à tour de rôle aux élèves d'exposer leurs choix, puis il a sollicité les autres élèves pour valider les modalisations décrites. Une fois validées, elles ont été soulignées sur le transparent avec le même code des couleurs. Une synthèse des argumentations divergentes et des modalisations rencontrées dans les deux textes a été élaborée avec les élèves.

Dans un troisième temps, une semaine plus tard, l'ensemble des élèves (ceux du groupe expérimental, c'est-à-dire 10 élèves, et ceux du groupe témoin, 11 élèves) ont exprimé par écrit leur avis argumenté à propos de deux nouveaux textes divergents (T5, T6), ce qui a constitué le post-test. Ensuite un débat oral a eu lieu. Pour définir la sphère d'échange, pour reprendre la notion de Bakhtine (1984), il convient de préciser qu'il était demandé aux élèves d'échanger sur leurs points de vue en les justifiant afin de parvenir à une meilleure analyse du problème et non pas de résoudre le problème et d'arriver à un consensus (la sphère savante ne sait pas le faire, comment le demander à des élèves ?) Le débat a été enregistré (vidéo et audio) et intégralement retranscrit.

Les textes (T1, T2) du pré-test abordent la fabrication de riz transgénique enrichi en vitamine A. Il s'agit :

- d'un extrait du livre de Houdebine, 2000. *OGM : le vrai et le faux*. Éd. du Pommier,

- d'un extrait d'un article du *Monde*, du 16 décembre 2000, intitulé : « Polémique autour d'un riz transgénique enrichi en carotène ».

Les textes (T3, T4) utilisés pour la formation à l'argumentation avec le groupe expérimental sont :

- un article du *Monde*, du 13 décembre 2002, intitulé : « Les académies favorables aux organismes génétiquement modifiés »,

- un communiqué d'ATTAC, du 16 décembre 2002, intitulé : « En se prononçant en faveur des OGM, les académies des sciences, de médecine

et pharmacie sont-elles devenues des filiales des grandes firmes multinationales de l'agroalimentaire et de la pharmacie ? ».

Les textes (T5, T6) du post-test traitent des interactions entre les OGM et les pays en développement. Il s'agit :

- d'un extrait du livre de Houdebine, 2000. *OGM : le vrai et le faux*. Éd. du Pommier,
- d'un extrait du livre de Benoit-Browaeyns, 1998. *Des inconnus dans... nos assiettes*. Paris : Castells.

Procédures d'analyse

Une procédure de triangulation a été suivie. Ainsi les données ont été d'abord analysées indépendamment par les deux auteurs de cette recherche. Puis les analyses ont été mises en commun et discutées jusqu'à accord entre les deux auteurs. Dans les réponses des élèves aux pré-tests et post-tests, ainsi que dans le débat, nous avons analysé les stratégies argumentatives et nous avons distingué les déclarations sans justification, les argumentations simples (comportant une seule justification), des stratégies plurielles (comportant plusieurs justifications emboîtées ou linéaires). Nous avons également identifié les domaines de savoir ou de références sociales sur lesquels reposaient les arguments des élèves et évalué la validité des arguments employés.

Nous avons réalisé une étude de la macrostructure du débat. Pour cela, le corpus a été découpé en épisodes. Les épisodes regroupent des unités sémantiques sur une même thématique. De cette façon, nous avons analysé la thématisation choisie et négociée entre les élèves. L'analyse de la macrostructure met en lumière la dynamique des échanges, les thématiques débattues, les thématiques récurrentes, c'est-à-dire les principaux domaines d'intérêt ou de préoccupation des élèves.

Nous avons par ailleurs filé les discours de chaque élève pour identifier leur logique.

Nous avons identifié les recours explicites à l'analyse des textes fournis. Nous avons également recensé les modalisations utilisées, les marques argumentatives, les contenus axiologiques ou prescriptifs. Nous avons enfin relevé dans le débat les traits caractéristiques des argumentations développées.

4. RÉSULTATS

L'argumentation des élèves a pu être étudiée à partir de deux types de production : écrite à travers les réponses aux pré-tests et aux post-tests,

orale dans le débat. Nous nous intéressons particulièrement au débat du fait même de l'enjeu principal que nous attribuons à l'enseignement des questions socio-scientifiques controversées : favoriser la participation des élèves aux débats sur ces questions.

4.1. Analyse des argumentations écrites

Dans le pré-test, les textes aux points de vue divergents portent sur la fabrication de riz transgénique enrichi en vitamine A et susceptible de prévenir les problèmes de cécité en Inde. Les arguments des élèves sont de nature politique, éthique, économique, écologique, biologique et liés à la santé humaine. Les informations demandées par les élèves sont de nature éthique, agronomique, écologique, économique, politique, professionnelle, liées à la santé humaine. Par ailleurs, quelques élèves s'interrogent sur l'opinion des consommateurs, sur la présence des OGM dans notre consommation actuelle, sur la localisation des cultures transgéniques, sur l'avenir de ce type de culture et son incidence sur l'agriculture biologique.

Dans le post-test, les textes traitent des interactions entre la production d'OGM et les pays en voie de développement. Les arguments des élèves sont de nature économique, agronomique, écologique, éthique, liés à la santé humaine et à la couverture alimentaire. Les informations demandées par les élèves sont de nature agronomique, économique, écologique, liées à l'alimentation et à la santé humaine.

Quatre élèves du groupe expérimental (sur les 10 restants) développent dans le post-test une argumentation écrite plus étoffée que dans le pré-test, mesurée par le nombre d'arguments valides développés et le nombre d'argumentations plurielles, qu'il s'agisse d'élèves « bons argumentateurs » ou « mauvais argumentateurs » dans le pré-test. Tandis que la qualité de l'argumentation des élèves du groupe témoin ne varie pas du pré-test au post-test.

La moitié des élèves du groupe expérimental font explicitement référence à la stratégie argumentative développée dans les textes, telle qu'ils l'ont étudiée au cours de l'analyse interdiscursive menée avec le chercheur. Ils mobilisent donc les compétences qu'ils ont construites pendant cette analyse.

4.2. Analyse du débat

Le débat a été étudié à partir d'analyses à différents grains : analyse de la macrostructure du débat mettant en évidence les thématiques développées, analyse des arguments fondés sur des raisonnements disciplinaires ou des procédures rhétoriques, suivi de la logique des discours d'élèves singuliers, analyse au grain le plus fin des modalisations employées.

Les élèves qui ont le plus pris la parole au cours du débat et qui ont développé l'argumentation la plus fondée sont les élèves qui sont définis, dans l'entretien que nous avons mené par la suite avec l'enseignante, comme les plus militants à tendance écologiste. Ils appartiennent indifféremment au groupe expérimental ou au groupe témoin, et ils développent une argumentation beaucoup plus élaborée à l'oral qu'à l'écrit.

Les élèves qui n'ont pas participé au débat sont ceux qui ont des mauvaises notes scolaires (en français, philosophie, biologie, agronomie), à l'exception d'un élève du groupe expérimental qui était « mauvais argumentateur » dans le pré-test, qui n'a pas participé au débat et qui développe une argumentation très élaborée dans le post-test.

Pour faciliter la prise de parole de tous les élèves, il conviendrait sans doute de proposer d'autres formes de débat, en sous-groupes par exemple.

Le nombre d'interventions des élèves s'élève à 94. Trois élèves se déclarant engagés et militants dans les entretiens s'expriment plus longuement que les autres : Mélodie (104 lignes de la transcription sur 556) a participé à une action de coopération dans un pays africain ; Martin (54 lignes de la transcription sur 556) est fils d'agriculteurs en agrobiologie ; Mathias (197 lignes de la transcription sur 556) est premier de la classe, considéré comme un leader. Il est aussi fils d'agriculteurs en agrobiologie.

Macrostructure du débat

La macrostructure nous permet d'identifier à travers les thématiques développées les domaines d'intérêts et de préoccupations des élèves et la proportion de l'interaction dans le débat. Nous désignons par le terme « discussion » les échanges interactifs.

L'animateur du débat est le premier auteur de l'article.

Lignes	Épisodes
1-17	<i>Introduction par l'animateur</i>
18-21	Intervention sur le droit de breveter
22-34	<i>Relance par l'animateur sur le point de vue des élèves à propos des textes ; réaction globalement négative et demande d'explication par l'animateur</i>
35-46	Remise en cause de la forme de l'aide aux pays en voie de développement (PVD)
47-53	Remise en cause de la répartition des produits alimentaires dans le monde
54-55	<i>Relance par l'animateur à partir de l'intérêt éventuel de la production de plantes transgéniques résistantes à la sécheresse</i>

56-70	Evocation de différents risques ; démonstration de l'engrenage de la dépendance des PVD
71	<i>Relance de l'animateur sur le fonctionnement des firmes</i>
72-80	Mise en évidence de la stratégie financière des firmes
81-93	Présentation d'une alternative pour aider les PVD : la formation agricole intégrée dans le contexte des PVD
94-96	Intervention sur les limites du transfert technologique
97-100	<i>Relance de l'animateur pour que s'expriment des avis favorables au développement des OGM dans les PVD</i>
101-108	Démonstration de l'opposition entre intérêt agronomique et dégradation sur le plan économique
109-122	Mise en évidence des risques et des incertitudes
123	<i>Demande de l'animateur de préciser les questions posées par les OGM</i>
124-131	Questionnement sur les recherches faites sur les risques alimentaires liés aux OGM ; évocation des travaux de Pusztai
132-136	Questionnement sur la publicité des recherches donnant des résultats inquiétants
137-148	Déclaration sur l'imposition des OGM par les entreprises, les agriculteurs n'étant pas demandeurs
149	<i>Relance de l'animateur sur le point de vue des élèves à propos des textes</i>
150-169	Dénonciation de la brevetabilité du vivant par les entreprises ; description des pratiques répressives des entreprises dans la confiscation du vivant
170-175	<i>Relance de l'animateur sur un autre pays producteur d'OGM : la Chine</i>
176-189	Evocation de l'Amérique du sud ; mise en cause de l'aide alimentaire contenant des OGM pour des pays africains
190-193	<i>Relance de l'animateur</i>
194-216	Discussion sur la concurrence à l'exportation des pays riches qui pourront produire grâce aux OGM des huiles jusqu'ici exportées par des petits pays
217-251	Discussion sur la spécialisation de l'agriculture dans les PVD et la diminution de l'agriculture vivrière
252-255	<i>Appel à la participation de ceux qui ne prennent pas la parole par l'animateur</i>
256-268	Démonstration d'un paradoxe : l'entraide des pays industrialisés vis-à-vis des PVD est fondée sur l'intérêt économique
269-274	Présentation d'une alternative : le commerce équitable
275-349	Discussion sur le faible développement du commerce équitable : manque d'information ou choix de vie
350-351	<i>Relance de l'animateur sur le fait que des chercheurs africains travaillent sur la production des OGM</i>

352-365	Intervention sur la prépondérance du modèle occidental
366-372	<i>Relance de l'animateur sur l'éventuelle levée du moratoire européen sur les cultures transgéniques</i>
373-449	Discussion sur l'efficacité de la résistance contre les OGM : de l'information des consommateurs à la révolution (!)
450-451	<i>Relance de l'animateur sur le rôle des consommateurs</i>
452-462	Des problèmes sanitaires peuvent faire réagir les consommateurs
463	<i>Relance de l'animateur sur l'existence ou non de problème</i>
464-473	Intervention sur le problème de l'irréversibilité de la fabrication des OGM
474-480	<i>Relance de l'animateur sur le refus des filières OGM dans la grande distribution</i>
481-512	Discussion sur l'intérêt économique des produits garantis sans OGM dans la grande distribution ; sur la manipulation des consommateurs par la publicité
513-514	<i>Relance de l'animateur : les agriculteurs que vous connaissez sont-ils partants pour produire des OGM ?</i>
515-528	Discussion sur l'intérêt des OGM pour les « gros » producteurs
529-538	Intervention sur la réalité de l'intérêt économique des OGM pour les agriculteurs
539-541	Intervention sur l'intérêt unilatéral des entreprises
542-549	Discussion sur le manque de visibilité de l'étiquetage
550-554	Discussion sur l'analogie avec l'utilisation de l'hormone de croissance en Espagne
555-556	<i>Clôture du débat par l'animateur</i>

Nous parlons d'argument dialogique quand il est construit en collaboration entre au moins deux personnes, ou quand le locuteur tient compte des arguments des autres pour les appuyer ou pour s'y opposer. On peut même parler d'argument dialogique s'il est produit par une seule personne. Scott et Mortimer (2002) proposent ainsi l'idée de voix dialogique quand le locuteur prend en compte les arguments de la personne qui écoute, même si cette dernière ne parle pas. Dans les épisodes 194-216 et 217-251, deux temps d'argumentations dialogiques s'entrelacent. Les deux protagonistes discutent d'abord de la concurrence à l'exportation des pays riches qui pourront produire grâce aux OGM des huiles jusqu'ici exportées par des petits pays. Pour l'un des protagonistes, Jacques, c'est l'argument majeur en défaveur des OGM. Pour l'autre, Martin, c'est la spécialisation de l'agriculture dans les PVD en vue de l'exportation qui est dramatique car elle se fait au détriment de l'agriculture vivrière. On peut voir dans l'extrait suivant que Martin s'appuie sur l'argument de Jacques pour le rallier à sa cause ; l'adverbe « justement » le met en évidence.

Jacques	Mais de toute façon on peut pas manger que, enfin pour ceux qui font de la noix de coco, ils vont pas manger que de la noix de coco.
Martin	C'est parce que justement ils se sont spécialisés pour exporter.

Contenus et problématiques disciplinaires abordés par les élèves

L'intention de cette analyse est double. D'une part, il s'agit de vérifier si la situation-débat favorise la mobilisation et l'appropriation de connaissances disciplinaires, leur donnant un statut opératoire. C'est ainsi que dans la recherche précédemment citée de Zohar & Nemet (2002), les élèves du groupe expérimental ont obtenu significativement de meilleurs résultats que les élèves qui ont suivi un enseignement traditionnel sur le plan de l'appropriation de connaissances biologiques. Les auteurs considèrent que le contexte a généré un intérêt propre à favoriser l'apprentissage des élèves. D'autre part, il s'agit d'identifier les domaines disciplinaires abordés et la qualité des connaissances mobilisées.

Le contenu du débat peut être analysé en fonction de la répartition des problématiques que nous avons rattachées à différentes disciplines. Nous avons mesuré l'importance relative de chacune des disciplines mobilisées en fonction du nombre de lignes de la transcription (cf. schéma 1). Le classement par thématique disciplinaire est parfois délicat car les thèmes abordés dans l'argumentation peuvent référer en même temps à plusieurs disciplines (exemple : opposition entre intérêt agronomique et croissance économique, 101-108). Il ressort que les thèmes scientifiques ont une place réduite dans le débat qui s'inscrit essentiellement autour de l'économie et du « politique ». Nous utilisons le terme « politique » pour décrire l'organisation de la cité et des règles qui régissent le monde et non pas pour évoquer l'exercice du pouvoir. La référence au politique est critique ; il s'agit d'améliorer le fonctionnement du système.

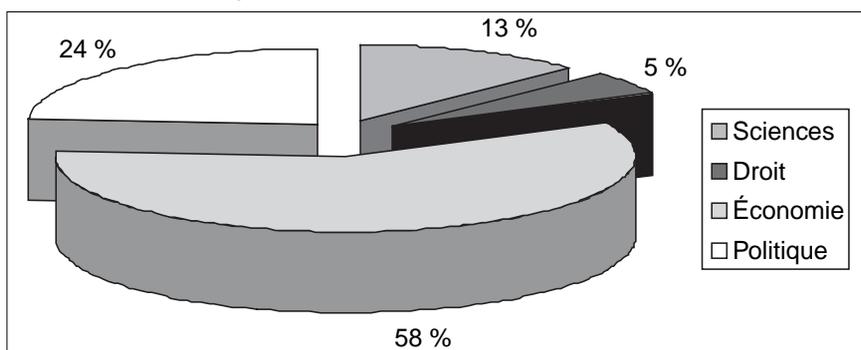


Schéma 1 • Répartition des différentes disciplines dans les prises de parole des élèves au cours du débat

Les thématiques abordées sont nombreuses (cf. tableau 1) et les formulations sont peu précises. Ainsi les notions « d'irréversibilité » en sciences ou bien encore de « dépendance » en économie sont traitées de façon superficielle, ne nous permettant pas d'affirmer que ces notions sont maîtrisées.

Dans le domaine économique, les notions abordées sont nombreuses ; elles concernent essentiellement le domaine de l'économie d'entreprise et les pays en voie de développement. Dans le domaine de l'entreprise, les élèves s'identifient à deux types d'acteurs : les agriculteurs (le débat avait lieu dans un lycée agricole) et les consommateurs en opposition aux entreprises ou aux distributeurs. Les prises de position sont souvent simplistes (il faut choisir entre les dépenses en alimentation de qualité et les loisirs, le commerce équitable est un circuit court) ou basées sur des systèmes d'opposition duale (pays pauvres / pays riches ; agriculteurs / entreprises ; distributeurs / consommateurs) qui caricaturent les interactions entre les acteurs : « Les gros agriculteurs, ils sont dans les OGM... » (Guillaume, 517). Dans le domaine des échanges avec les pays en développement, les prises de position sont plutôt fortes et en faveur d'une meilleure répartition des richesses : « Ça entraînera des pays pauvres encore plus pauvres » (Jacques, 108), « et en plus, c'est pas eux qui profitent de l'exportation » (Martin, 211), « ça frise la démence » (Mathias, 159).

Les élèves mobilisent, sans les nommer précisément, les principes de justice, d'équité et la question de l'information des citoyens : « des problèmes des OGM qu'ils nous auraient cachés » (Mathias, 135). « Il faut que les gens, ils soient informés » (Mélodie, 283), « s'il y avait vraiment une information » (Mathias, 436).

Sciences	Droit	Économie	Politique
Santé humaine Acquisition de résistance Ressources en eau Irréversibilité Risque et incertitude	Brevétabilité du vivant Étiquetage	Aide aux PVD et dépendance Développement Formation et développement Transfert et innovation Spécialisation / exportation / cultures vivrières / monoculture Exportation / concurrence Commerce équitable Consommation Stratégies des entreprises	Informations Citoyenneté Démocratie et profit Rôles de l'État Éthique Profit et entraide Pauvreté

Tableau 1 • Thématiques disciplinaires abordées au cours du débat

Une sensibilité thématique différente selon les élèves

En filant les discours des élèves, on s'aperçoit qu'ils sont intéressés (ou préoccupés) par des thématiques différentes, ce qui a favorisé la prise en compte de différents domaines dans le débat. Les thématiques scientifiques sont abordées essentiellement par deux élèves : Mathias et Jacques. Jacques parle peu mais c'est lui qui, généralement, introduit le thème par une illustration qui est développée ensuite par Mathias. Jacques a visiblement plus de difficultés à s'exprimer par oral. Mélodie et Martin, deux élèves qui sont beaucoup intervenus, n'ont pas évoqué d'aspects scientifiques.

Dans le domaine politique, Mélodie a des prises de position fortes avec un vocabulaire très marqué : « révolution », « peuple », « grève », « capitalisme ». Guillaume, Christophe et Nicolas sont des élèves qui ne sont intervenus pratiquement que lors des discussions portant sur le « politique » et pour exprimer une adhésion, mêlée de désillusion et d'impuissance, à diverses revendications : « C'est pas nous qu'on va refaire le monde ! » (Christophe, 397), « Tu peux faire les manifestations que tu veux et bien s'ils décident de faire... » (Jacques, 438).

Les arguments sont repris des articles fournis

Des élèves ayant participé au groupe expérimental s'appuient dans leur argumentation sur des extraits des articles fournis. Par exemple, Mélodie déclare : « Là c'est surtout le passage sur l'acide laurique (elle vérifie sur l'article) qu'on trouve dans l'huile de palme et les noix de coco qui risque d'être mis dans des colzas et à ce moment-là les petits pays exportateurs d'huile de palme et de noix de coco, ben ils pourront plus les exporter parce que les gros pays ils en auraient plus besoin quoi. Mais le seul truc, c'est que bon ben peut-être que pour ces gros pays c'est bien parce qu'ils ont pas à importer des noix de coco et tout ça, mais les pays producteurs, eux c'est quasiment leur seul moyen de, enfin l'économie de ces pays là elle est en général basée sur l'exportation de produits comme ça, et ça enfin la noix de coco dans certains pays c'est quasiment la première exportation, c'est la première source de richesse du pays quoi. Donc s'ils arrivent plus à exporter à cause des OGM, c'est encore plus les mettre dans une mauvaise posture qu'ils le sont actuellement. »

Des idéaux-types s'expriment

Pour donner du poids à leur argumentation, les élèves ont recours à des pseudo-témoignages de personnages fictifs correspondant à des « idéaux-types », comme les a définis Weber (1992), l'un des pères de la sociologie moderne. Construire un « idéal-type », cela consiste premièrement à enchaîner des phénomènes que l'on rencontre de manière diffuse.

Ainsi on ne peut pas rencontrer l'agriculteur tel que les élèves le formule, le concept est construit à partir d'un certain nombre de traits prélevés sur différents agriculteurs observés. Cela consiste ensuite à mettre de la cohérence et de la logique dans l'ensemble des traits relevés, quitte à atténuer, voire à gommer certains traits, et au contraire à mettre en avant d'autres traits. Le concept est une production idéalisée seulement au sens logique du terme. Par contre un « idéal-type » ne correspond pas à un idéal en terme de valeurs. Par exemple, Mathias argumente ainsi : « Pour l'instant les OGM ils arrivent c'est bien beau, on nous dit : « On va « vous vendre des OGM » mais la demande elle vient de qui ? Moi j'ai jamais entendu un agriculteur qui a dit « Moi je voudrais des OGM ». On lui a mis à disposition, on lui a montré les avantages, on lui a dit qu'il gagnerait de l'argent en cultivant des OGM alors il a dit « Bon je vais essayer ». Mais a priori l'idée des OGM elle vient pas des agriculteurs, elle vient des industries de biochimie et... ».

Ils envisagent des alternatives

Deux alternatives aux OGM pour les pays en voie de développement sont proposées :

– contextualiser la formation des agriculteurs des PVD. Par exemple, Mélodie (35-46) déclare : « La meilleure solution pour qu'ils mangent à leur faim c'est de les former pour leur apprendre à cultiver leur terre avec leur écosystème, pour qu'ils apprennent comment il faut faire en fonction de la sécheresse et tout. »

– développer le commerce équitable. Ainsi Mathias (269-274) suggère : « Il y a d'autres trucs aussi, il y a quand même des petites choses qui sont mises en place, c'est pas grand chose mais... des trucs comme le commerce équitable, des choses comme ça c'est des voies qui essaient d'être ouvertes par une plus petite minorité vers quelque chose de mieux de plus équitable, de plus correct... »

Diverses procédures rhétoriques viennent renforcer les arguments

Des questions sans réponse mettent en évidence les risques et incertitudes : « Est-ce qu'on va vraiment utiliser les OGM sans problème ? Est-ce qu'on connaît les problèmes que ça risque de générer à long terme ? [...] Moi j'ai l'impression qu'il y a plein de questions auxquelles on a pas de réponses claires et précises et qu'il faudrait quand même élucider avant de se lancer dans quelque chose de... qu'on connaît pas vraiment. » (Mathias, 109-122).

Des questions induisant des réponses négatives étayent l'argumentation. Ces questions ont pour but d'orienter le discours ultérieur des protagonistes. C'est une forme de l'argumentation dans la langue chère à Ducrot. Par

exemple, « mais est-ce qu'ils feront pas des erreurs, est-ce qu'ils mettront tous les processus en place pour faire ça sans aucun risque » (Mathias, 109-122).

« On donne, puis on vend » : cinq élèves décrivent ainsi la stratégie supposée pour développer l'adhésion et la rentabilité des OGM. « Au début on va leur donner, puis on leur vendra » (Mathias, 56-70 ; Jacques, 94-96 ; Mélodie, 212-216, 249-251 ; Martin, 206-212 ; Guillaume, 509-511).

Toutes les formes de modalisations sont convoquées

Dans l'extrait de débat déjà cité plus haut, Mélodie (194-205) a recours à des modalisations logique, pragmatique et appréciative :

<p>« Mais le seul truc, c'est que bon ben peut-être que pour ces gros pays c'est bien parce qu'ils ont pas à importer des noix de coco et tout ça, mais les pays producteurs, eux c'est quasiment leur seul moyen de, enfin l'économie de ces pays là elle est en général basée sur l'exportation de produits comme ça, et ça enfin la noix de coco dans certains pays c'est quasiment la première exportation, c'est la première source de richesse du pays quoi. Donc <i>s'ils arrivent plus</i> à exporter à cause des OGM, c'est <i>encore plus les mettre dans une mauvaise posture</i> qu'ils le sont actuellement. »</p>	<p>Modalisation logique</p> <p>Modalisation pragmatique</p> <p>Modalisation appréciative</p>
---	--

Des modalisations déontiques sont également mobilisées, comme par Mélodie : « Mais ça, ça date de la colonisation, c'est quand les blancs ils sont arrivés là-bas et puis ils leur ont dit « Ben ça c'est bien, il faut qu'on en ait dans notre pays, donc vous allez cultivez ça, on vous donnera de l'argent » et au final on les a exploités, ça fait 400 ans qu'on les exploite, même si l'esclavage est terminé ; maintenant eux ils cultivent, ils crèvent de faim et nous on se fait des sous... voilà quoi... »

5. CONCLUSION

S'il semble bien que l'analyse interdiscursive menée avec les élèves sur des textes divergents ait un impact sur la qualité de l'argumentation écrite des élèves, l'argumentation orale est plus influencée par des facteurs sociaux (engagement politique des élèves, position de leader dans la classe). Les élèves en échec scolaire semblent ne pas oser participer à l'argumentation orale.

La formation à l'argumentation à travers l'analyse interdiscursive de textes aux points de vue divergents menée avec les élèves donne des résultats prometteurs. Bien entendu, il faut rester prudent et ne pas généraliser à partir d'une étude de cas. Une telle étude doit être considérée comme une première approche du problème, étant donné sa faible validité externe. La formation à l'argumentation doit être améliorée. On peut envisager des temps de débats en sous-groupes pour favoriser la prise de parole des plus effacés. On peut faire précéder l'argumentation orale d'un temps de confrontation des arguments écrits individuellement par les élèves ; par exemple chacun écrit son argumentation, puis la lit et répond aux questions dans un sous-groupe de petite taille.

Les enseignants en sciences se réfugient parfois derrière la présentation des seuls faits scientifiques avérés. La tendance est alors de « refroidir » les questions vives pour diminuer le « risque » d'enseigner et par-là, d'en affaiblir le sens pour les élèves. Legardez (2003) estime à ce propos qu'il faudrait au contraire pouvoir gérer ce risque et faire en sorte de problématiser les questions vives en classe. La complémentarité entre l'analyse interdiscursive de positions divergentes et la mise en situation-débat est un moyen d'affronter ce risque.

Tous les enseignants en sciences ne se sentent pas compétents pour mener ce genre d'analyse avec les élèves. Faut-il envisager de les former à cette compétence ou faut-il développer des séquences interdisciplinaires avec des enseignants en lettres ou en philosophie, ou avec des enseignants d'autres disciplines en fonction des questions socio-scientifiques abordées ?

Se pose le problème de la formation des enseignants à l'animation de situations-débats. Il convient de gérer l'affectif qui joue toujours dans des situations d'argumentation potentiellement conflictuelles, et d'être vigilant à ne pas fermer l'argumentation des élèves. Il est possible en formation avec les enseignants, en hétéroscopie ou en autoscopie, c'est-à-dire à partir des débats menés par d'autres enseignants ou par eux-mêmes, d'analyser des enregistrements de situations-débats afin de leur permettre d'identifier les indices de fermeture de débat, les reformulations qu'ils opèrent en déformant la pensée des élèves, ...

Sur un plan disciplinaire, il est aussi possible de rebondir sur certaines notions abordées de façon superficielle par les élèves. Dans la procédure expérimentale adoptée ici, le débat est un temps de structuration de connaissances qui intervient après des apports documentaires. On pourrait imaginer un post-débat portant sur les notions évoquées lors du débat et qui gagneraient à être approfondies. Ce travail complémentaire de précision ou de reformulation paraît être difficile à réaliser au cours du débat, car l'enseignant est alors fortement engagé dans son travail de gestion du débat ; sans compter que cela risquerait de casser la dynamique d'échanges entre les élèves.

Mais la principale difficulté pour les enseignants réside dans l'interdisciplinarité incontournable pour traiter des questions socio-scientifiques. Dans ce type d'activité, les savoirs scientifiques, économiques, politiques, les conséquences sociétales, les points de vue éthiques sont à prendre en considération. Et l'émotion est toujours potentiellement présente. Ce fait, mais aussi le manque de familiarité des enseignants scientifiques vis-à-vis de l'organisation de débats, justifie la participation et l'implication des enseignants en sciences humaines. Les pratiques interdisciplinaires, combinant sciences expérimentales et sciences humaines, sont malheureusement rares. Mais les questions socio-scientifiques sont par nature interdisciplinaires et c'est en les traitant comme telles qu'elles prennent sens pour les élèves et qu'on peut espérer les doter d'une compétence citoyenne.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM J.-M. (1990). *Éléments de linguistique textuelle*. Liège : Mardaga.
- ADAM J.-M. (1992). *Les textes : types et prototypes*. Paris : Nathan.
- AIKENHEAD G. S. (1986). The content of STS education. *STS Research Network Missive*, vol. 2, n° 3, 13-18.
- AIKENHEAD G. S. (1989). A note from the editor. *STS Research Network Missive*, vol. 3, n° 2, p. 1-2.
- ANSCOMBRE J.-C. & DUCROT O. (1983). *L'argumentation dans la langue*. Bruxelles : Mardaga.
- APOTHÉLOZ D., BRANDT P.-Y. & QUIROZ G. (1992). Champ et effets de la négation argumentative : contre-argumentation et mise en cause. *Argumentation*, vol. 6, p. 99-125.
- BANDIERA M. & BRUNO C. (2005). Can active/cooperative learning be practiced at school? Patras (sous presse).
- BRASSART D. (1987). Le développement des capacités discursives chez l'enfant de 8 à 12 ans : le discours argumentatif : étude didactique. Thèse, Strasbourg.
- BRONCKART J.-P. (1996). *Activité langagière, textes et discours : pour un interactionnisme socio-discursif*. Paris : Delachaux & Niestlé.
- BYBEE R.W. (1987). Science education and the science-technology-society (STS) theme. *Science Education*, vol. 71, n° 5, p. 667-683.
- COLUCCI L., CALINO E. & PERAZZONE A. (2001). Role playing in science: a tool for a nonviolent approach to environmental conflicts. *ERIDOB*, Santiago de Compostella, p. 231-246.
- DÉSAUTELS J. *et al.* (1995). Rapport de recherche : la participation des scientifiques québécois au projet HUGO - pour ou contre ? Université Laval, Québec.
- DRIVER R. & NEWTON P. (1997). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *European Science Education Research Association Conference*, Rome.
- DRIVER R., NEWTON P. & OSBORNE J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, vol. 84, p. 287-312.
- Ducrot O. (1980). *Les échelles argumentatives*. Paris : Éd. de Minuit.
- EIJKELHOF H. & LIJNSE P. (1988). The role of research and development to improve STS education: experiences from the PLON project. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 4, p. 464-474.
- FOUREZ G. (1997). Qu'entend-on par îlot de rationalité et par îlot interdisciplinaire de rationalité ? *Aster*, n° 25, p. 217-225.

- GAYFORD C. (1993). Discussion-based group work related to environmental issues in science classes with 15-year-old pupils in England. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 5, p. 521-529.
- GAYFORD C. (2002). Controversial environmental issues: a case study for the professional development of science teachers. *International Journal of Science Education*, vol. 24, n° 11, p. 1191-1200.
- GEDDIS A. N. (1991). Improving the quality of science classroom discourse on controversial issues. *Science Education*, vol. 75, n° 2, p. 169-183.
- GOLDER C. (1996). *Le développement des discours argumentatifs*. Lausanne : Delachaux et Niestlé.
- JIMENEZ-ALEIXANDRE M.-P., BUGALLO-RODRIGUEZ A. & DUSCHL R. (1997). Argument in high School Genetics. *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, New Orleans.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE M.-P., BUGALLO-RODRIGUEZ A. & DUSCHL R. (2000). "Doing the lesson" or "Doing science": argument in High School Genetics. *Science Education*, vol. 84, p. 757-792.
- KOLSTO S. D. (2000). Consensus projects: teaching science for citizenship. *International Journal of Science Education*, vol. 22, n° 6, p. 645-664.
- KOLSTO S. D. (2001). Scientific literacy for citizenship: tools for dealing with the science dimension of controversial socio-scientific issues. *Science Education*, vol. 85, p. 291-310.
- KORTLAND K. (1996). "Decision-making on science-related social issues: the case of garbage in physical science - a problem-solving approach". In G. Welford, J. Osborne & P. Scott. *Research in Science Education in Europe. Current Issues and Themes*. London: Falmer Press, p. 115-124.
- LEACH J., LEWIS J., DRIVER R. & WOOD-ROBINSON C. (1996). Opinions on and attitudes towards genetic screening: a pre-natal screening (Cystic Fibrosis). *Document de travail n° 5, young people's understanding of, and attitudes to the new genetics project*. University of Leeds: Centre for studies in sciences and mathematics education.
- LEGARDEZ A. & ALPE Y. (2001). La construction des objets d'enseignements scolaires sur des questions socialement vives : problématisation, stratégies didactiques et circulations des savoirs. *4^e Congrès AECSE, Actualité de la recherche en éducation et formation*, Lille.
- LEGARDEZ A. (2003). L'enseignement de questions sociales et historiques socialement vives. *Le Cartable de Cléo*, n° 3, p. 245-253.
- LEWIS J. & WOOD-ROBINSON C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance - do students see any relationship? *Second Conference of European Researchers In Didaktik Of Biology*, Göteborg, p. 123-134.
- LEWIS J., LEACH J., WOOD-ROBINSON C. & DRIVER R. (1998). "Students' attitudes to the new genetics: prenatal screening for cystic fibrosis". In H. Bayrhuber & F. Brinkman. *What - Why - How? Research in Didaktik of Biology*. Kiel : IPN, p. 173-182.
- LEWIS J., LEACH J. & WOOD-ROBINSON C. (1999). « Attitude des jeunes face à la technologie génétique ». In L. Simonneaux. *Les biotechnologies à l'école*. Dijon : Éd. Educagri, p. 65-95.
- LOCK R. & MILES C. (1993). Biotechnology and genetic engineering: students' knowledge and attitudes. *Journal of Biological Education*, vol. 27, n° 4, p. 267-272.
- MEANS L.M. & VOSS J.F. (1996). Who reasons well? Two studies of informal reasoning among children of different grade, ability, and knowledge levels. *Cognition and instruction*, vol. 14, n°2, p. 139-178.
- MORIN E. (1998). *Pourquoi et comment articuler les savoirs ?* Paris : PUF.
- NAYLOR S., DOWNING B. & KEOGH B. (2001). An empirical study of argumentation in primary science, using concept cartoons as the stimulus. *European Science Education Research Association Conference*, Thessaloniki.

- ORANGE C. (2003). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation : le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *Aster*, n° 37, p. 83-108.
- OSBORNE J. (1999). Promoting rhetoric and argument in the science classroom. *European Science Education Research Association Conference*, Kiel.
- OSBORNE J. et al. (2001). Enhancing the quality of argument in school science. *School Science Review*, vol. 82, n° 301, p. 63-70.
- PERELMAN C. & OLBRECHT-TYTECA L. (1988). *Traité de l'argumentation : la nouvelle rhétorique*. Bruxelles : Éd. Universitaires de Bruxelles.
- PLANTIN C. (1990). *Essais sur l'argumentation : introduction linguistique à l'étude de la parole argumentative*. Paris : Kimé.
- PLANTIN C. (1996). *L'argumentation*. Paris : Éd. du Seuil.
- RATCLIFFE M. (1996). Pupil decision-making about socioscientific issues, within the science curriculum. *International Journal of Science Education*, vol. 19, n° 2, p. 167-182.
- SADLER T. D., CHAMBERS F. W. & ZEIDLER D. L. (2004). Student conceptualisations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, vol. 26, n° 4, p. 387-410.
- SCOTT P. & MORTIMER E. (2002). Discursive activity on the social plane of high school science classroom: a tool for analysing and planning teaching interactions. *Communication AERA, annual meeting*, New Orleans.
- SIMONNEAUX L. (1995). Approche didactique et muséologique des biotechnologies de la reproduction bovine. Thèse, Lyon 1.
- SIMONNEAUX L. (1997). "French students' attitudes towards the "new genetics" involved in agriculture". In *Symposium on Young People's Knowledge of, and Attitudes to Gene Technologies, First International Conference of the European Science Education Research Association*, Rome.
- SIMONNEAUX L. (1999). Student conceptions about biotechnology in agriculture. *Ninth European Congress on Biotechnology*, Bruxelles.
- SIMONNEAUX L. (1999). « Le clonage animal : les conceptions des élèves ». In L. SIMONNEAUX. *Les biotechnologies en débat à l'école : formation à la citoyenneté*. Dijon : Éd. Educagri.
- SIMONNEAUX L. (2000). Investigating conceptions and attitudes of the general public, students and experts to animal reproduction biotechnology. *Teaching Biotechnology at School*. Kiel : IPN, p. 81-86.
- SIMONNEAUX L. (2000). A study of pupils' conceptions and reasoning in connection with "microbes", as a contribution to research in biotechnology education. *International Journal of Science Education*, vol. 22, n° 6, p. 619-644.
- SIMONNEAUX L. (2001). Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis. *International Journal of Science Education*, vol. 23, n° 9, p. 903-928.
- SIMONNEAUX L. & BOURDON A. (1998). "Antigen, antibody, antibiotics... What did you say that was?" In H. Bayrhuber & F. Brinkman. *What - Why - How? Research in Didaktik of Biology*. Kiel : IPN, p. 233-242.
- SOLOMON J. (1992). The classroom discussion of science-based social issues presented on television: knowledge, attitudes and values. *International Journal of Science Education*, vol. 14, n° 4, p. 431-444.
- TOULMIN S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge : Cambridge University Press.
- VYGOTSKI L. S. (1985). *Pensée et langage*. Paris : Messidor, p. 343.
- WALKER K. A. & ZEIDLER D. L. (2004). The role of students' understanding of the nature of science in a debate activity: is there one? *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, Vancouver.

WEISSER M. (2005). Logique illocutoire, logique naturelle, théorie de l'argumentation : quels outils pour quels résultats ? *Colloque Didactiques : quelles références épistémologiques ?* Bordeaux.

WOOD-ROBINSON C., LEWIS J., LEACH J. & DRIVER R. (1998). "Young people's understanding of basic genetics". In H. Bayrhuber & F. Brinkman. *What - Why - How? Research in Didaktik of Biology*. Kiel : IPN, p. 162-172.

ZEIDLER D. L., WALKER K. A., ACKETT W. A. & SIMMONS M. L. (2002). Tangled up in views: beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, vol. 86, p. 343-367.

ZEIDLER D. L., SADLER T. D., SIMMONS M. L., HOWES E. V. (2004). Beyond STS: a research-based framework for socioscientific issues education. *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, Vancouver.

ZOHAR A. & NEMET F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, n° 39, p. 35-62.

■ COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

Reports of innovations

Étude de l'apprentissage du phénomène physique de la chute des corps en classe de 3^e française

Phenomenon of falling in French grade 9

**Untersuchung über das Erlernen des physikalischen
Vorgangs vom freien Fall der Körper
in einer französischen 3^e-Klasse (9.Klasse)**

**Estudio del aprendizaje del fenómeno físico
de la caída de los cuerpos en clase de cuarto
de la ESO de la enseñanza francesa**

Élise Baldy et Françoise Aubert

LIRDEF - ERES

IUFM de l'académie de Montpellier

2, place Marcel-Godechot

BP 4152 - 34092 Montpellier cedex 05

elise.baldy@montpellier.iufm.fr

Résumé

L'enseignement des notions de poids et de masse en classe de troisième se fait, suivant les programmes scolaires officiels de sciences physiques de la classe de troisième, indépendamment du phénomène physique de la chute des corps. Le constat des enseignants est que les élèves ont du mal à distinguer ces deux notions. En effet, nous pensons qu'une conception erronée du phénomène physique auquel se rattachent ces concepts est un obstacle à leur compréhension. Nous proposons une séquence d'enseignement qui vise à faire évoluer les conceptions des élèves relatives à la chute des corps dans le cadre d'un apprentissage par résolution de problème basé sur leurs conceptions initiales.

Mots Clés : chute des corps, conceptions, poids, masse, constructivisme

Abstract

France's Ministry of Education syllabus for the subject of Physics states that the teaching of the notions of weight and mass to 14-15 year olds is to be carried out independently of the phenomenon of object displacement due to gravity. Teachers have nevertheless noticed that pupils encounter difficulties in distinguishing between the two. We thus question the pertinence of this approach to these physical phenomena and concepts as they would seem to represent an obstacle to pupil comprehension. This study proposes a teaching sequence which aims at changing how pupils understand these phenomena by having them learn using problem-solving methods and using their first reactions.

Key words: displacement of objects due to gravity, understanding, weight, mass, constructivism.

Zusammenfassung:

Die Begriffe von „Gewicht“ und „Masse“ werden gemäß den offiziellen Lehrplänen in Physik für die 3^e-Klasse (9.Klasse) den Schülern dieser Klasse unabhängig vom physikalischen Vorgang des freien Falls der Körper beigebracht. Dabei stellen die Lehrer fest, dass die Schüler diese zwei Begriffe nur mit Mühe voneinander unterscheiden können. In der Tat denken wir, dass eine irriige Auffassung des physikalischen Vorgangs, mit dem diese Begriffe in Verbindung stehen, ein Hindernis ist, um sie zu verstehen. Wir schlagen eine Unterrichtssequenz vor, die darauf hinzielt, die Auffassungen der Schüler über den freien Fall der Körper zu verändern, indem die Kenntnisse durch eine auf den ursprünglichen Auffassungen der Schüler basierende Problemlösung vermittelt werden.

Schlüsselwörter: freier Fall der Körper, Auffassungen, Gewicht, Masse, Konstruktivismus.

Resumen

La enseñanza de las nociones de peso y de masa en clase de 4° en el sistema francés se hace, según los programas escolares oficiales de ciencias físicas de dicha clase, independientemente del fenómeno físico de la caída de los cuerpos. La comprobación de los docentes es que los alumnos experimentan dificultades para distinguir estas dos nociones. En efecto creemos que una concepción errónea del fenómeno físico con el cual se relacionan estos conceptos es un obstáculo a su comprensión. Proponemos pues una secuencia de enseñanza que tiene como meta hacer evolucionar las concepciones de los alumnos relativas a la caída de los cuerpos en el ámbito de un aprendizaje por resolución de un problema basado en sus concepciones iniciales.

Palabras clave : *Caída de los cuerpos, concepciones, peso, masa, constructivismo.*

INTRODUCTION

Les conceptions initiales du phénomène physique de la chute des corps des élèves de troisième sont très éloignées des concepts scientifiques. Par exemple, les conceptions selon lesquelles « les objets flottent sur la Lune » ou « l'atmosphère est responsable de la chute des corps » sont très fréquentes chez les élèves des classes de troisième française (Aubert, 1994 et Baldy, 2002) ainsi que chez les élèves à l'étranger (Palmer, 2001 et Mildenhall et Williams, 2001). Or, nous pensons que les notions de poids, de masse et d'intensité de la pesanteur ne peuvent avoir de sens que si elles sont rattachées au champ conceptuel des phénomènes physiques qu'elles modélisent, notamment le phénomène de la chute des corps.

Si nous comparons (annexe 1) les programmes de 1993 de sciences physiques pour la classe de troisième et ceux actuellement en vigueur (1998), on perçoit, entre les deux une évolution dans l'enseignement des concepts de poids et de masse sous l'influence, pensons nous, de recherches en didactique.

La formulation thématique (Exemple d'interaction à distance : le poids) du premier programme sous-tend une conception plutôt inductiviste des apprentissages alors que celle du second, interrogative (Quelle relation existe-t-il entre le poids et la masse ?) est plus favorable à une démarche hypothético-déductive. Cependant, dans l'un comme dans l'autre, l'étude du phénomène physique de la chute des corps ainsi que la prise en compte des conceptions initiales des élèves ne sont pas explicitement suggérées.

Par ailleurs, nous avons analysé un ensemble d'ouvrages scolaires de physique et chimie de la classe de troisième des collections suivantes : Durandeu (1994), Carré (1994), Durandeu (1999), Archimède (1999). Il apparaît que :

- toutes les leçons commencent par la définition de la masse et du poids (masse : quantité de matière, grandeur invariable, exprimée en kilogramme ; poids : attraction que la Terre exerce sur un objet, exprimée en Newton) ;
- la relation $P = mg$ est introduite par une observation : on mesure à l'aide d'un dynamomètre le poids de différentes masses marquées, on note dans un tableau les résultats obtenus, on trace le graphique indiquant l'évolution du poids en fonction de la masse, on constate que les quotients P/m sont sensiblement égaux, on en déduit le rapport de proportionnalité g ;
- les ouvrages parlent de la variation de g en fonction du lieu et de l'altitude sur la Terre, et seuls deux livres, Archimède (1999) et Durandeu (1999), indiquent que g varie en fonction de l'astre sur lequel on se trouve. L'exemple de la Lune est donné dans les deux cas.

Cette analyse montre que les documents destinés à aider le professeur proposent un enseignement transmissif des notions de poids et de masse sans les rattacher au phénomène physique qu'ils modélisent, celui de la chute des corps, pourtant mal connu des élèves.

L'objectif de notre travail est de proposer une séquence d'enseignement permettant aux élèves de faire évoluer leurs conceptions initiales du phénomène physique de manière à ce que les concepts de poids, masse et intensité de la pesanteur prennent un sens physique. Nous nous plaçons donc dans une approche d'apprentissage par « situation-problème » au sens de Robardet (1989 et 1995) et Charnay (1987). Nous considérons que les conceptions initiales des élèves, intuitives (*intuitive conceptions* de Fischbein, 1987) ou alternatives (*alternative conceptions* de Palmer, 2001) ne sont pas « détruites » selon l'expression de Bachelard (1938) mais constituent des bases qui doivent évoluer.

1. LA SÉQUENCE D'ENSEIGNEMENT

La séquence d'enseignement que nous proposons se déroule dans une classe de niveau moyen de 21 élèves et est réalisée par le chercheur en présence du professeur habituel.

Déroulement de la séquence	Intentions d'apprentissage
<p>Séance 1 (durée 1 heure)</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>questionnaire</u> : conservation de la masse lors de transformations (<i>pré-test 1</i>) - <u>discussion</u> avec les élèves des différentes hypothèses - <u>expérience</u> : observation de l'invariance de la masse d'un flacon d'eau très chaude lors de son refroidissement malgré la diminution du volume - <u>définition</u> de la masse et prise de notes sur le cahier 	<p>Faire évoluer la notion de masse</p> <ul style="list-style-type: none"> - amener les élèves à réfléchir à un problème et à formuler des hypothèses - formuler correctement des hypothèses - tester les hypothèses à l'aide d'observations expérimentales - institutionnalisation de la nouvelle connaissance : la masse ne diminue pas lorsque le volume diminue lors du refroidissement
<p>Séance 2 (durée 1 heure)</p>	<p>Faire évoluer les conceptions des élèves concernant la chute des corps sur la Terre et sur la Lune</p>
<ul style="list-style-type: none"> - <u>questionnaire</u> : phénomènes se produisant pour un caillou que l'on lâche sur la Terre et sur la Lune (<i>pré-test 2</i>) - <u>discussion</u> avec les élèves des différentes hypothèses - <u>expérience</u> : chute d'un morceau de craie dans une cloche à vide - <u>discussion</u> avec les élèves concernant le phénomène de la chute des corps sur la Lune - <u>visionnage d'une vidéo</u> montrant des hommes marchant sur la Lune - <u>visionnage d'une vidéo</u> montrant des hommes dans ou hors d'une navette spatiale 	<ul style="list-style-type: none"> - amener les élèves à réfléchir à un problème et à formuler des hypothèses - formuler des hypothèses pour expliquer la chute des corps sur la Terre - réfuter l'hypothèse de la pression atmosphérique comme cause de la chute des corps - formuler des hypothèses - dépasser l'idée selon laquelle les corps flottent sur la Lune - montrer que les phénomènes sont différents sur la Lune et dans l'espace

Elle se déroule en trois étapes, durant trois séances de sciences physiques d'une heure, réparties sur trois semaines. Ces séances, présentées dans la figure 1, visent à :

1. faire évoluer les conceptions concernant la notion de masse,
2. faire évoluer les conceptions concernant le phénomène de la chute des corps,
3. institutionnaliser la notion de poids et sa relation avec la masse.

- <u>récapitulatif</u> , conclusion et prise de notes sur la cahier	- institutionnalisation de la nouvelle connaissance : la chute des corps est due à l'attraction d'un astre et non à la présence d'une atmosphère (le fait qu'il ne peut pas y avoir d'atmosphère sans attraction n'est pas abordé avec les élèves)
Séance 3 (durée 1 heure)	Définir le poids comme force d'attraction d'un astre
- <u>présentation</u> du modèle (annexe 2) de l'interaction entre les corps à distance - <u>définition</u> du poids comme le cas particulier de FA/B lorsque B est un corps massif et A un corps céleste - <u>questionnaire</u> (post-test) - <u>établissement</u> (par l'enseignant) de la relation $P = mg$ qui lie le poids à la masse	- généraliser la notion d'attraction à tous les corps et en particulier à tous les corps célestes - définir le poids (sur la Terre comme en tout point de l'espace) - utiliser la formule pour effectuer des applications numériques
Contrôle	Évaluer l'évolution des conceptions des élèves

Figure 1 • La séquence d'enseignement proposée.

Nous présentons brièvement les tests proposés aux élèves :

– *Le pré-test 1* (annexe 3) est proposé au début de la première séance d'enseignement. Il doit permettre d'inférer les conceptions initiales des élèves concernant la masse et sa conservation, lors de transformations.

– *Le pré-test 2* (annexe 4) est proposé au début de la deuxième séance d'enseignement. Il doit permettre d'inférer les conceptions des élèves concernant la chute des corps sur la Terre et sur la Lune. On cherche à savoir si les élèves attribuent la chute des corps sur la Terre à l'attraction terrestre, à l'atmosphère ou à une autre cause et s'ils pensent que les objets tombent ou flottent sur la Lune, ainsi que s'il existe une attraction lunaire.

– *Le post-test* (annexe 5) est proposé à la fin de la troisième séance d'enseignement, après la présentation du modèle. Il évalue la compréhension du modèle de l'interaction entre deux corps à distance. Notre objectif est de vérifier que les élèves ont compris ce modèle et sont capables de l'utiliser. Le questionnaire propose huit questions dans lesquelles varient la masse et la nature des corps ainsi que la distance qui les sépare. Les réponses nécessitent l'application directe du modèle.

– *Le contrôle* (annexe 6) évalue les connaissances des élèves à la fin de la séquence d'enseignement. À travers cinq exercices, il recouvre tous les domaines abordés lors des séances. Nous proposons aux élèves une grande variété de situations pour déceler, éventuellement, les différentes « facettes » de leurs conceptions.

Nous évaluons l'efficacité de la séquence en étudiant l'évolution des conceptions des élèves, relatives à la chute des corps, inférées à partir de leurs réponses aux différents questionnaires et au contrôle. Les pré-tests font partie intégrante de la séquence d'enseignement car ils permettent aux élèves de réfléchir à une question et de formuler des hypothèses. Le post-test permet au professeur de faire un bilan des connaissances des élèves à la fin de la séquence. Le contrôle est proposé une dizaine de jours après la troisième séance.

2. LES RÉSULTATS

Nous présentons l'évolution des conceptions des élèves concernant le phénomène de la chute des corps au cours de la séquence d'enseignement. Nous inférons les conceptions des élèves à partir des réponses obtenues aux questionnaires, avant enseignement, au pré-test pour les conceptions initiales et au post-test et au contrôle pour les conceptions après enseignement.

Nous classons les conceptions inférées dans six catégories :

– *Attraction généralisée* (notée par la suite AG) : ces élèves savent qu'il y a une attraction terrestre et lunaire et de manière générale une attraction sur tous les astres et que cette attraction persiste dans l'espace à grande distance des astres.

– *Attraction des planètes, en particulier de la Terre et de la Lune* (AP) : ces élèves pensent que les corps tombent sur la Terre et sur la Lune à cause de l'attraction terrestre et lunaire. Nous attribuons cette conception aux élèves qui répondent que les corps tombent sur la Terre et sur la Lune et lorsque le terme « attraction » apparaît dans leurs réponses. Pour eux, les corps flottent dans l'espace.

- *Attraction seulement Terrestre (AT)* : ces élèves pensent que l'attraction est un phénomène particulier réservé à la Terre, les autres astres, notamment la Lune, n'ont pas d'attraction. Ces élèves répondent que les corps flottent sur la Lune ou, explicitement, qu'il n'existe pas d'attraction lunaire.
- *Attraction sur la Terre et atmosphère sur la Lune (Aatmos)* : ces élèves ont une conception différente des causes de la chute des corps selon que le phénomène se produit sur la Terre ou sur la Lune. Sur la Terre, la chute des corps est due à l'attraction terrestre alors que sur la Lune les corps flottent car il n'y a pas d'atmosphère.
- *Atmosphère (atmos)* : ces élèves pensent que la chute des corps est liée à la présence d'une atmosphère. Ils répondent que les corps tombent sur la Terre à cause de la pression atmosphérique et qu'ils flottent sur la Lune car il n'y a pas d'air.
- *Aristote sur la Terre et atmosphère sur la Lune (ar/atmos)* : ces élèves ont, là aussi, une conception différente selon que le phénomène se produit sur la Terre ou sur la Lune. Ils ont une conception aristotélicienne de la chute des corps sur la Terre : les corps tombent car ils rejoignent la Terre qui est leur milieu d'origine. Les élèves répondent « le caillou tombe car il est lourd » ou « car on le lâche », « sur la Lune, les corps flottent car il n'y a pas d'atmosphère ».

		Après enseignement						
		AG	AP	AT	Aatmos	atmos	ar/atmos	
Avant enseignement	AG	2	0	0	0	0	0	2
	AP	0	0	0	0	0	0	0
	AT	0	9	2	0	0	0	11
	Aatmos	0	1	0	0	1	0	2
	atmos	0	1	2	0	0	0	3
	ar/atmos	0	1	2	0	0	0	3
		2	12	6	0	1	0	21
								Régression 1

Progression 16 4

Tableau 1 • Évolution des conceptions des élèves avant et après enseignement, les nombres dans les cases indiquent les effectifs (N = 21).

Le tableau 1 présente l'évolution des conceptions avant et après enseignement. On trouve en ligne les conceptions inférées des réponses des élèves avant enseignement (et leur effectif) et en colonne les conceptions des élèves inférées après enseignement (et leur effectif). Nous les avons classées de la plus complète et la plus correcte à la plus erronée.

Quelques remarques sur les conceptions initiales des élèves :

Nous constatons qu'avant enseignement, la conception la plus recevable (« AG ») ne concerne que deux élèves. La conception la plus partagée est celle selon laquelle la chute des corps due à une attraction est un phénomène réservé à la Terre. Les conceptions erronées (la chute des corps est liée à la présence d'une atmosphère et les corps tombent pour regagner leur lieu d'origine) sont partagées par peu d'élèves.

La plupart des élèves ont une conception correcte concernant la chute des corps sur la Terre (15 élèves (2 « AG », 11 « AT » et 2 « Aatmos ») pensent que la chute des corps est due à une attraction). On peut noter la variété du vocabulaire employé par ces élèves : *attiré vers* la Terre (8 élèves), *attiré par* la Terre (1 élève) ou tombe à *cause* de l'attraction terrestre (6 élèves). Les élèves de cet âge n'imaginent pas de mouvements sans force et réciproquement. Cependant, l'adverbe « vers » suggère que les élèves ne croient pas à une force « magique » qui agirait sur les corps.

Sur la Lune, en revanche, la quasi-totalité des élèves a une conception erronée (« AT », « Aatmos », « atmos » et « ar/atmos »). En effet, mis à part les deux élèves qui ont une approche correcte globale (« AG »), tous les élèves pensent que les corps flottent sur la Lune. Les onze élèves ayant la conception « AT », ont une conception correcte concernant la cause de la chute des corps (la chute des corps est due à une attraction), mais ils ne savent pas qu'il existe une attraction lunaire. Les autres ont une conception totalement erronée : la chute des corps est due à la présence d'une atmosphère, et ils savent qu'il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune.

On remarque que quatre conceptions (« AG », « AP », « AT » et « atmos ») sont applicables à toutes les situations (les élèves y ont recours quelle que soit la situation) et que deux conceptions (« Aatmos » et « ar/atmos ») sont mixtes (les élèves ont recours à des conceptions différentes suivant la situation).

Quelques remarques sur les conceptions des élèves après enseignement :

La conception généralisée (« AG ») est élaborée par deux élèves. La conception la plus partagée (12 élèves) est celle selon laquelle la chute des corps est due à l'attraction de la Terre ou de la Lune, et lorsqu'on s'en éloigne cette attraction devient nulle (« AP »). Six élèves pensent que la chute des corps due à une attraction est un phénomène exclusivement terrestre et donc que les corps flottent naturellement sur la Lune (« AT »). Certes, ces six élèves savent qu'un cosmonaute peut se déplacer normalement sur la Lune, sans voler, mais ils attribuent cette observation à des équipements spéciaux (des bottes aimantées, par exemple). Les trois conceptions erronées (chute

des corps liée à l'atmosphère ou conception aristotélicienne) ne sont plus ou très peu présentes. Lors du contrôle, des élèves semblant avoir une conception juste de la chute des corps, peuvent répondre à un exercice de manière erronée.

Évolution des conceptions des élèves au cours de la séquence d'enseignement :

La diagonale représente une absence d'évolution, les élèves ont la même conception avant et après enseignement. C'est le cas de quatre élèves : deux élèves ont une conception correcte et généralisée du phénomène de la chute des corps avant enseignement (« AG »), ils la conservent après la séquence d'enseignement et deux élèves ont une conception de la chute des corps limitée à la Terre avant enseignement (« AT »), ils la conservent aussi malgré la séquence.

Les effectifs au-dessus du trait représentent des régressions. Ce n'est le cas que d'un seul élève qui passe d'une conception « Aatmos » (la chute des corps est due à une attraction sur la Terre et les corps flottent sur la Lune car il n'y a pas d'atmosphère) à une conception « atmos » (la chute des corps est due à une atmosphère).

Les effectifs situés au-dessous du trait représentent des progressions. C'est le cas de 16 élèves. On constate que cette évolution positive n'atteint jamais la conception la plus correcte « AG » (les corps sont attirés en tout point de l'espace par les astres environnants). La majorité des élèves atteint cependant la conception « AP », selon laquelle la chute des corps est due à l'attraction des planètes. Neuf élèves passent d'une conception de l'attraction limitée à la Terre à une conception de l'attraction sur toutes les planètes.

On constate sur l'ensemble du tableau que seulement sept élèves n'atteignent pas cette conception « AP ».

3. DISCUSSION

Nous discutons d'abord les conceptions initiales des élèves puis, leur évolution. Nous essayons de répondre à deux questions : que deviennent les conceptions initiales ? Et comment la compréhension du phénomène de l'attraction se généralise-t-elle de la Terre à la Lune et à l'ensemble de l'Univers ?

Les conceptions de la chute des corps sur la Terre sont correctes pour plus de la moitié des élèves (15 sur 21) : la chute des corps est due à une attraction et il existe une attraction terrestre. Les conceptions de la chute des corps sur la Lune sont, pour la quasi-totalité des élèves, erronées :

19 élèves sur 21 pensent que les corps flottent sur la Lune. Cette réponse est sous-tendue par deux conceptions : la chute des corps est due à une attraction et il n'existe pas d'attraction lunaire (conception « AT », 11 élèves) ou la chute des corps est due à une atmosphère et il n'existe pas d'atmosphère autour de la Lune (« Aatmos », 2 élèves, « atmos », 3 élèves et « ar/atmos », 3 élèves).

Pourquoi cette différence entre la Terre et la Lune ? Sur la Terre, les conceptions se construisent à travers la vie quotidienne. Sur la Lune, les observations qui nourrissent les conceptions ne sont pas directement issues de l'expérience personnelle (lectures, photos, films) et sont rares (aucun homme n'a marché sur la Lune depuis 1972). En revanche, les élèves ont l'habitude de voir des images de cosmonautes en apesanteur dans leur fusée ou dans une station orbitale. On peut penser qu'ils ont généralisé ce qu'ils ont vu : dans l'espace (et l'intérieur d'une fusée est assimilé à l'espace), on flotte ; la Lune est dans l'espace donc sur la Lune, on flotte. Il apparaît que l'enseignement de la valeur de g sur la Lune a peu de chance d'être opératoire car incompatible avec les conceptions des élèves.

Nous voudrions insister aussi sur un lien possible entre les conceptions des élèves et les systèmes explicatifs qu'ils exploitent pour répondre aux questions que nous leur posons. Nos résultats suggèrent que les élèves peuvent disposer de *plusieurs systèmes explicatifs suivant que le phénomène se produit sur la Terre, la Lune ou le reste de l'Univers*. Ainsi, une conception peut être homogène, c'est-à-dire faire appel au même système explicatif quelque soit le lieu ou bien elle peut être mixte, c'est-à-dire comprendre plusieurs systèmes explicatifs. L'un ou l'autre de ces systèmes (appelés « facettes » par Minstrell, 1992) est activé en fonction des caractéristiques de la situation. Clément (1994) utilise le terme de « conception située » pour indiquer qu'une partie seulement de la conception est momentanément activée en relation avec une situation précise. La Terre est un cas particulier car c'est le seul corps céleste de l'Univers vers lequel les corps sont attirés. Sur la Lune ou dans l'espace, les corps flottent car ils sont dans le vide.

Après la séquence d'enseignement, *les conceptions ont évolué favorablement ou sont restées stables pour chacun des élèves, excepté un seul*. L'ensemble des élèves pense, à présent, que sur la Lune les corps tombent. Cependant, on constate que la justification de leur réponse n'est pas toujours correcte. On peut penser que *l'évolution d'une conception entièrement fautive vers une conception correcte se fait, chez certains élèves, en trois temps*. Dans un premier temps, les élèves ont une idée fautive des faits et de leurs justifications. Dans un deuxième temps, les faits sont assimilés, mais leur compréhension est en retard. Les élèves adaptent leur conception à leur nouvelle lecture de la réalité mais dans une mauvaise direction (les cosmonautes utilisent des équipements spéciaux pour garder les pieds au sol sur la Lune

ou les corps sont attirés vers la Terre car elle est aimantée). Dans un troisième temps, les élèves réussissent à ajuster leurs explications aux faits observés ou appris.

La discussion qui a lieu au cours de la deuxième séance montre que les élèves se demandent *d'où provient la force d'attraction*. Pour répondre à cette interrogation, nous avons présenté le modèle de l'interaction entre les corps : tous les corps massifs s'attirent entre eux par un phénomène différent de l'attraction entre des corps aimantés ou entre des corps électrisés. Mais on se rend compte que cette explication ne suffit pas. Certains élèves se demandent quelle est la nature de cette force « mystérieuse » qui attire les corps et que l'on représente par une flèche partant d'un point situé au centre de l'objet. On remarque que dans le post-test les élèves préfèrent utiliser l'expression à *cause* de l'attraction plutôt que *attiré vers* ou *attiré par*.

Lors du contrôle, des élèves qui répondent correctement à un grand nombre de questions, et semblent donc avoir une conception juste de la chute des corps, peuvent répondre à un exercice de manière erronée. Ce point nous amène à nous interroger sur *ce que deviennent les conceptions initiales des élèves* après enseignement. On peut formuler trois hypothèses : (1) les conceptions initiales des élèves, qui faisaient obstacle au sens de Bachelard (1938), ont été détruites et ne sont plus en concurrence avec les connaissances scientifiques ; (2) les nouvelles connaissances scientifiques ont pénétré les conceptions initiales pour les faire évoluer ; (3) les nouvelles connaissances cohabitent avec les conceptions initiales. Nous avons au départ l'hypothèse (2). Leur manifestation à l'occasion d'un exercice difficile suggère soit que l'évolution des conceptions initiales est instable et qu'il peut y avoir des retours en arrière soit que les conceptions initiales ne sont jamais totalement oubliées et peuvent être activées lorsque l'élève ne reconnaît pas, dans la situation, les éléments qui lui ont permis de construire ses nouvelles connaissances. Dans ce cas, l'élève disposerait d'un répertoire de conceptions, de niveaux de scientificité et de champs d'application différents, l'une ou l'autre s'imposant selon la situation.

La conception (« AP ») élaborée par un grand nombre d'élèves a un champ d'application limité : la chute des corps est due à l'attraction, il existe une attraction terrestre et une attraction lunaire mais ces attractions ont une limite spatiale, loin de la Terre ou de la Lune, elles n'existent plus. On peut penser que les élèves font une analogie avec la limite spatiale de l'atmosphère. L'attraction reste un phénomène localisé.

Nous proposons (figure 2) une évolution possible de la structure des systèmes explicatifs de chaque conception.

Avant enseignement (étape 1), la Terre est la seule planète où les corps tombent. Sur la Lune, dans la fusée ou dans le reste de l'Univers, les corps flottent (« AT »). Cette conception qui consiste à séparer la Terre du

« ciel » a été partagée par un grand nombre de savants jusqu'au Moyen Âge. Galilée fut le premier à considérer les phénomènes terrestres de la même manière que les phénomènes célestes (cf. par exemple Vigoureux, 1997).

Lors de l'étape 2, les élèves appliquent un système explicatif à la Terre (attraction) et un autre à la Lune. Le reste de l'Univers échappe à tout système explicatif. C'est le cas des élèves qui ont une conception « AT » et qui pensent que le cosmonaute repose sur la Lune grâce à un équipement spécial.

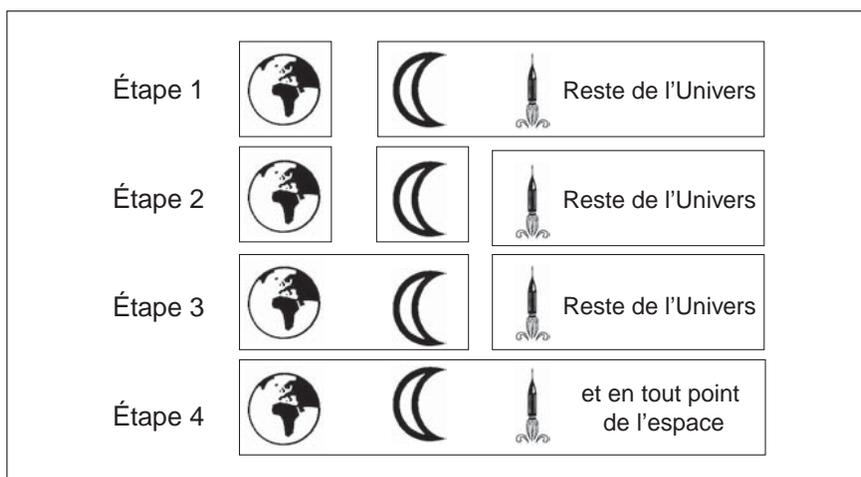


Figure 2 • Évolution de la structure des systèmes explicatifs des conceptions concernant la chute des corps.

Lors de l'étape 3, les élèves généralisent le cas de la Terre à la Lune et probablement sur toute autre planète (« AP »). Les conceptions naïves redeviennent opérantes lorsque les phénomènes se produisent dans l'espace (fusée en panne entre la Terre et la Lune).

Dans l'exercice de la fusée en un point éloigné de toute planète, la plupart des élèves ne parviennent pas à mettre à profit le système qu'ils utilisent de manière correcte pour la Terre et la Lune (étape 4). La conception selon laquelle la chute des corps est due à l'attraction n'est valable qu'à proximité d'une planète. On peut penser que la nature mystérieuse de cette attraction ne permet pas aux élèves de la généraliser en tout point de l'espace.

4. CONCLUSION

Nous avons constaté au cours de notre travail que les conceptions initiales des élèves de troisième relatives à la chute des corps sur la Terre et

surtout sur la Lune sont éloignées des conceptions scientifiques. Les élèves n'imaginent pas que l'on puisse considérer de la même manière un phénomène se produisant sur la Terre et un phénomène se produisant dans un autre endroit de l'espace. Cette idée est renforcée par des informations extrascolaires souvent mal interprétées par les élèves (des cosmonautes en état d'apesanteur dans une station orbitale, par exemple). Or, nous pensons que les notions de poids, de masse et d'intensité de la pesanteur ne peuvent pas prendre de sens pour des élèves ne connaissant pas le phénomène physique que ces concepts modélisent. L'objectif de la séquence d'enseignement que nous avons présentée était de permettre aux conceptions des élèves d'évoluer. Elle propose un enseignement par résolution de problème dans lequel l'élève est actif et s'appuie sur ses conceptions initiales pour formuler des hypothèses et construire de nouvelles connaissances. Les résultats montrent que notre objectif est partiellement atteint, puisque nous constatons qu'après enseignement, la majorité des élèves a une meilleure conception de la chute des corps qu'avant enseignement. Le poids semble correctement conceptualisé comme une interaction entre corps massifs et non plus comme une propriété des objets ou comme une action spécifique de la Terre. De même, la notion d'interaction à distance semble acceptée tant que cette distance n'est pas trop grande. Ce sont autant de points favorables à une bonne compréhension des concepts de poids, masse et intensité de la pesanteur. Cependant, nous disons « partiellement atteint », car nous constatons deux limites. Premièrement, les élèves ne parviennent pas à une conception généralisée de l'attraction des planètes en tout point de l'espace. À la fin de l'enseignement, la plupart des élèves ont une conception d'une attraction limitée à la proximité des astres. Il semble que l'évolution d'une conception passe par plusieurs étapes au cours desquelles la conception correcte s'étend à un domaine de validité de plus en plus grand. La dernière étape qui consiste en une conceptualisation généralisée du phénomène n'est atteinte que par peu d'élève de troisième à la fin de cette séquence d'enseignement. Deuxièmement, nous constatons que lorsque les élèves sont confrontés à un exercice faisant intervenir une situation nouvelle, les conceptions initiales erronées refont surface. Nous avons formulé deux hypothèses pour expliquer cela : soit l'évolution des conceptions est fragile et il peut y avoir des retours en arrière, soit les conceptions initiales ne sont pas totalement effacées et peuvent être réutilisées lorsque l'élève se trouve face à une situation nouvelle. Il semble de plus, que l'explication de l'origine de l'attraction des planètes proposée aux élèves ne réponde pas complètement à leur attente. La notion d'interaction à distance est difficilement comprise.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT F. (1994). *Contribution à la distinction des concepts de masse et de poids en classe de troisième*. Mémoire (non publié) de DEA de didactique des disciplines scientifiques. Université Montpellier 2.
- BALDY É. (2002). *Construction des concepts de poids et de masse en classe de troisième*. Mémoire (non publié) de maîtrise. Université Montpellier 2.
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : J. Vrin.
- CHARNAY R. (1987). Apprendre (par) la résolution de problème. *Grand N*, n° 42.
- CLEMENT P. (1994). In GIORDAN A., GIRAULT Y. et CLEMENT P. *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang.
- FISCHBEIN E. (1987). *Intuition in Science and Mathematics: An Educational Approach*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.
- MILDENHALL P.T. & WILLIAMS J.S. (2001). Instability in student's use of intuitive and Newtonian models to predict motion: the critical effect of the parameters involved. *International journal of science education*, vol. 23, n° 6, p. 643-660.
- MINSTRELL J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R. Duit, F. Goldberg & H. Neiddener *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Kiel, Germany: Institute of science education, p. 110-127.
- PALMER D. (2001). Student's alternative conceptions and scientifically acceptable conceptions about gravity. *International journal of science education*, vol. 23, n° 7, p. 691-706.
- ROBARDET G. (1989). Utiliser des situations-problèmes pour enseigner les sciences physiques. *Petit x*, n° 23, p. 61-70.
- ROBARDET G. (1995). Situations-problèmes et modélisation ; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. *Didaskalia*, n° 7, p. 129-143.
- VIGOUREUX J-M. (1997). *Les pommes de Newton*. Paris : Diderot Éditeur, Arts et sciences.

ANNEXE 1 : Présentation des programmes de 1993 et 1998 de sciences physiques pour la classe de troisième.

- Le programme¹ de 1993 avait pour contenus dans un paragraphe intitulé « Propulsion et freinage » : « [...] 1.2.1 - Présentation des effets dus aux forces. 1.2.2. - Action exercée sur un objet : force, modélisation : direction, sens, intensité, point d'application s'il peut être précisé. 1.2.3 - Exemple d'interaction à distance : le poids [...] ». Quant aux compétences attendus, il était mentionné « on attend que l'élève sache : [...] - que la force est modélisée par un vecteur. - l'unité de force, le newton, symbole N. [...] - distinguer masse et poids. - la relation liant le poids à la masse sur terre. »

- Le programme actuel² (1998) présente des « exemples d'activités » en relation avec des questions. Ainsi dans le paragraphe « Mouvement et forces », aux questions « Pourquoi le mouvement d'un objet est-il modifié ? Pourquoi un objet se déforme-t-il ? » les activités proposées sont :

« - à partir de situations mises en scène en classe ou de documents vidéo, inventorier les actions de contact (actions exercées par des solides, des liquides, des gaz) ou à distance (action magnétique, électrique, de gravitation, poids). - utiliser un dynamomètre », auxquelles sont associés les « contenus-notions » suivants : « Action exercée sur un objet (par un autre objet), effets observés : - modification du mouvement, - déformation. Modélisation d'une force localisée par un vecteur et un point d'application. Équilibre ou non équilibre d'un objet soumis à deux forces colinéaires. Les « compétences attendues » sont : « Identifier l'objet d'étude sur lequel s'exerce l'action, distinguer les différents effets de l'action. Mesurer une force avec un dynamomètre. Le newton (N), unité de force du Système International. Savoir représenter graphiquement une force. Être capable d'utiliser la condition d'équilibre d'un objet soumis à deux forces colinéaires. ». De même pour la question : « Quelle relation existe-t-il entre le poids et la masse ? », on trouve : « - utilisation d'un dynamomètre, d'une balance. - étude documentaire : le poids d'un objet sur la Terre et sur la Lune ». À cela sont associés les « contenus-notions » suivants : « Relation entre poids et masse d'un objet [*Mathématiques : proportionnalité*]. g, intensité de la pesanteur (en $N \cdot kg^{-1}$) ». Les « compétences » sont « Distinguer masse et poids, connaître et savoir utiliser la relation de proportionnalité entre ces grandeurs en un lieu donné. » Il est indiqué dans les commentaires : « La loi des interactions réciproques (ou de l'action et de la réaction) est hors programme. »

(1) Programme de physique-chimie applicable dans les classes de troisième. BO n° 41 du 2 décembre 1993, p. 3721-3739. Paris : ministère de l'Éducation nationale.

(2) Programmes physique-chimie. BO n° 10 Hors-série du 15 octobre 1998, p. 125-135. Paris : ministère de l'Éducation nationale.

ANNEXE 2 : Modèle de l'interaction à distance entre deux corps présenté lors de la séance 3.

Interaction de deux corps à distance.

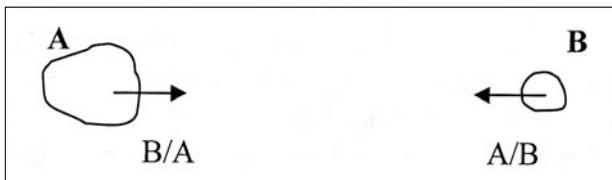
Ce phénomène est différent des phénomènes d'attraction entre aimants ou entre objets électrisés que vous avez déjà vu.

Dans ce cas, les objets s'attirent car ils sont formés de matière, c'est-à-dire car ils ont une masse.

Règle 1 :

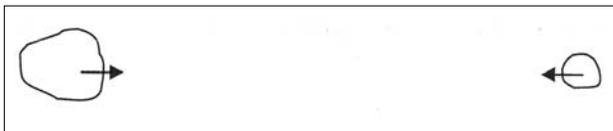
Deux corps **A** et **B** quelconques exercent une attraction l'un sur l'autre.
 m_A est la masse de A et m_B est la masse de B.

$\vec{B/A}$ est l'action de B sur A ; $\vec{A/B}$ est l'action de A sur B.



Règle 2 :

Quand la distance entre A et B augmente, alors l'attraction diminue.



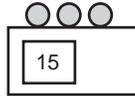
Quand la masse de A ou de B augmente, alors l'attraction augmente.



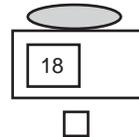
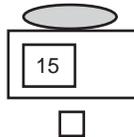
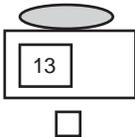
ANNEXE 3 : Pré-test 1 (les espaces réservés aux réponses des élèves ont été supprimés).

Situation 1 :

On place sur une balance numérique 3 morceaux de pâte à modeler. Un nombre s'inscrit sur le cadran.



On rassemble les 3 morceaux en un seul. Que se passe-t-il ?



- A.** Le nombre diminue. **B.** Le nombre ne change pas. **C.** Le nombre augmente.

Placez une croix dans la case choisie et expliquez par des phrases les raisons de votre choix .

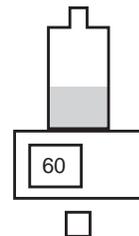
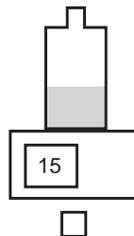
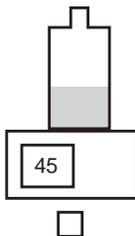
Situation 2 :

On chauffe un liquide contenu dans une bouteille, sans le faire bouillir.

On place la bouteille sur une balance numérique, un nombre s'inscrit sur le cadran.



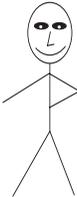
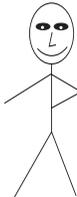
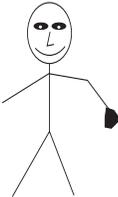
On laisse refroidir le liquide, son volume diminue pour retrouver sa valeur initiale. Que se passe-t-il ?



- A.** Le nombre diminue. **B.** Le nombre ne change pas. **C.** Le nombre augmente.

Placez une croix dans la case choisie et expliquez par des phrases les raisons de votre choix .

ANNEXE 4 : Pré-test 2.

	
 <p>L'homme repose debout sur la Terre. Comment l'expliques-tu ?</p>	 <p>L'homme est transporté sur la Lune. Qu'est-ce qui change ou ne change pas pour lui ? Comment l'expliques-tu ?</p>
	
 <p>L'homme tient un caillou à la main. Il le lâche, le caillou tombe. Comment l'expliques-tu ?</p>	 <p>L'homme se trouve sur la Lune avec le caillou. Il le lâche, le caillou tombe-t-il comme sur la Terre ? Si non pourquoi ? Si oui pourquoi ?</p>

ANNEXE 5 : Post-test.

Application du modèle de l'interaction entre deux solides.

Nous considérons la Terre, la Lune, le caillou, le véhicule et l'homme comme des solides.

Le solide A est la Terre :	Le solide A est la Lune :
<ul style="list-style-type: none">- La Terre attire-t-elle le caillou ? Comment l'expliques-tu ? - Comment expliques-tu qu'il soit plus facile de soulever un caillou que de soulever un homme ? <i>(vous ne devez pas utiliser les termes « lourd » et « léger »)</i> - Un avion est plus attiré par la Terre lorsqu'il est posé sur la piste que lorsqu'il se trouve à 10 000 mètres d'altitude, comment l'expliques-tu ?	<ul style="list-style-type: none">- La vidéo montre que, sur la Lune, un homme, une pierre ou un véhicule ne « volent » pas, comment l'expliques-tu ? - Sur la Lune, le véhicule touche mieux le sol que l'homme, comment l'expliques-tu ? - Sur la Lune, l'homme semble plus « léger » que sur la Terre, alors que sa masse est la même, comment l'expliques-tu ?

Sur la table se trouvent une gomme et un capuchon de stylo :

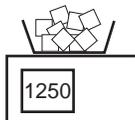
- La gomme attire le capuchon du stylo.
- Le capuchon attire la gomme.
- Comment expliques-tu que la gomme et le capuchon ne se déplacent pas l'un vers l'autre ?

- Si la gomme devient aussi grosse et massive que la Terre, que se passe-t-il ?

Le modèle dit que la Terre attire le caillou et que le caillou attire la Terre, alors comment expliques-tu que se soit le caillou qui se déplace vers la Terre et non l'inverse ?

ANNEXE 6 : Contrôle.

Exercice 1 :



- On sort des glaçons du frigo et on les place dans un récipient.
- On pose ce récipient sur la balance numérique, un nombre s'inscrit sur le cadran.
- Ce nombre est 1 250 (grammes).

Au bout de 2 heures, les glaçons ont complètement fondu et il n'y a pas eu d'évaporation.

On regarde le cadran. On observe que :

- Le nombre a diminué.
- Le nombre n'a pas changé.
- Le nombre a augmenté.

Placez une croix dans la case choisie.

A votre avis, quel nombre lit-on ?

Justifier votre réponse :

Exercice 2 :

Un cosmonaute se rend sur la Lune. Au lieu de se poser avec sa fusée, il décide de sauter avec un parachute. Que se produit-il à votre avis ?

- Il se pose sur la Lune comme il se poserait sur la Terre.
- Il s'écrase sur le sol de la Lune.
- Il descend doucement vers le sol de la Lune.
- Il flotte au-dessus de la Lune.

Placez une croix dans la case choisie et justifier votre réponse.

Le cosmonaute est maintenant sur la Lune, il enlève ses bottes. Que se passe-t-il ?

- Les bottes restent au sol et le cosmonaute aussi.
- Les bottes restent au sol et le cosmonaute flotte.
- Les bottes flottent et le cosmonaute aussi.
- Les bottes flottent et le cosmonaute reste au sol.

Placez une croix dans la case choisie et justifier votre réponse.

Exercice 3 :

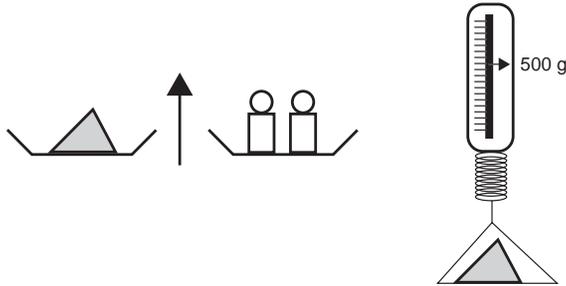
On se trouve dans le futur. Un village a été construit sur la Lune, on peut s'y rendre facilement, en particulier pour faire son marché.

Le marché a lieu le dimanche à M. et les mêmes marchands se retrouvent le mercredi sur la Lune.

Deux marchands Pierre et Nicolas vendent des épices.

Pierre utilise un appareil à pesée à 2 plateaux. Il pose une quantité de cumin sur un plateau et il équilibre l'autre plateau avec des masses marquées.

Nicolas utilise un dynamomètre gradué, par le fabricant sur Terre, en unité de masse.



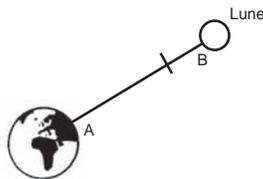
Vous voulez acheter 500 g de cumin à 16 euros le kg.

Sachant que les appareils de pesée offrent la même précision et que les prix de vente sont les mêmes sur la Terre que sur la Lune, choisissez parmi les propositions suivantes :

- Il est plus intéressant d'acheter chez Pierre à M.
- Il est plus intéressant d'acheter chez Pierre sur la Lune.
- Il est plus intéressant d'acheter chez Nicolas à M.
- Il est plus intéressant d'acheter chez Nicolas sur la Lune.
- Cela n'a aucune importance, c'est pareil partout.

Justifiez votre choix :

Exercice 4 :



Un vaisseau spatial effectue le trajet Terre-Lune. Ce trajet est représenté par la droite AB.

L'équipe au sol reçoit un appel de détresse, le vaisseau a une panne de réacteur et n'avance plus, il reste sur place.

Le vaisseau se trouve à l'endroit repéré par le tiré sur le schéma.

Ce phénomène ne peut se produire qu'à cet endroit précis. Expliquez pourquoi ?

Vous pouvez utiliser le schéma pour expliquer.

Exercice 5 :

1- La masse d'une voiture est de 1,2 tonnes sur la Terre.

Quelle est l'intensité de son poids sur la Terre ?

Quelle est l'intensité de son poids sur la Lune ?

2- Le poids d'un livre de physique est de 6,50 N dans la classe.

Quelle est sa masse sur la Terre ?

Quelle est sa masse sur la Lune ?

3- Un objet de masse 2 kg a un poids de 58 N sur une certaine planète.

Quelle est l'intensité de la pesanteur sur cette planète ?

Si vous pouviez aller sur cette planète, que ressentiriez-vous par rapport à ce que vous ressentez sur la Terre ? Quelles seraient les différences ?

Reports of innovations

Évaluation cognitive d'un logiciel de modélisation auprès d'élèves de collège

**A Cognitive Analysis of Simulation Software
Used by 13-15 Year Old Pupils**

**Kognitive Evaluation
einer Modellierungssoftware
bei Schülern der Mittelstufe (collège)**

**Evaluación cognitiva
de un software de modelización
en alumnos del primer ciclo francés**

Zacharoula SMYRNAIOU

Université de Thessaly, 382 21 Bolos, Grèce,
zacharoula@yahoo.fr

Annick WEIL-BARAIS

Université d'Angers, faculté des lettres, langues et sciences humaines,
11, bd Lavoisier, 49045 Angers, cedex 01,
weilbar@aol.com ; annick.weil-barais@univ-angers.fr

(1) L'étude présentée dans cet article a été réalisée dans le cadre d'un programme européen de recherche (*School tomorrow project*, IST-2000-25385 "*ModellingSpace*") piloté par A. Dimitracopoulou de l'université d'Égée. L'ensemble du travail a donné lieu à une thèse soutenue à l'université Paris 5 en 2003.

Résumé

L'étude présentée concerne l'évaluation cognitive d'un logiciel (*ModellingSpace*) destiné à l'enseignement des sciences. L'évaluation porte sur les fonctions de représentation des relations entre grandeurs physiques, dans le contexte particulier de l'étude de la chute d'un corps sur un plan incliné. L'impact de l'utilisation du logiciel est évalué en comparant les réponses de deux groupes d'élèves de collège (4^e et 3^e) abordant l'expérience avant ou après avoir utilisé le logiciel. Il apparaît que l'usage du logiciel peut faciliter les mises en relation entre les aspects de la réalité, leur conceptualisation et les représentations symboliques de celles-ci, à condition qu'il intervienne conjointement avec la réalisation concrète d'une expérience.

Mots-clés : évaluation cognitive, logiciel éducatif, représentation, modélisation sciences physiques.

Abstract

This study concerns the learning of sciences using the "ModellingSpace" computer programme and its associated technology-based learning environment. Based upon a case study of object displacement on an inclined plane, it takes a look at how pupils view the various physical scales offered by the objects used. Comparison of the results produced by two groups of 13-15 year olds was used to determine the impact of the software. The first group was asked to initiate the learning process using the technology-based learning environment and then follow up with the objects; the other group was asked to go from object to software. The study shows that software can facilitate pupil comparisons of the different aspects of reality, its understanding and its symbolic notation provided that the software itself intervenes in conjunction with real experiments.

Key words: cognitive analysis, educational software, physical sciences, representation, modelling or simulation, technology based learning environment.

Zusammenfassung

*Die vorgestellte Untersuchung betrifft die kognitive Evaluation einer Software (*ModellingSpace*), die für den Unterricht der wissenschaftlichen Fächer bestimmt ist. Die Evaluation bezieht sich auf die Funktionen zur Darstellung der Beziehungen zwischen physikalischen Größen, im besonderen Kontext der Untersuchung des Falls eines Gegenstands auf einer schiefen Ebene. Die Auswirkung der Benutzung der Software wird bewertet, indem die Antworten von zwei Gruppen von Schülern der 8. und der 9. Klasse miteinander verglichen werden. Eine Gruppe von Schülern ging an das Experiment heran, bevor sie die Software benutzte und die andere erst nachdem sie die*

Software benutzt hatte. Es stellt sich heraus, dass die Anwendung der Software die Vergleiche erleichtern kann, die zwischen den verschiedenen Aspekten der Realität, ihrer Konzeptualisierung und ihren symbolischen Darstellungen gemacht werden können, vorausgesetzt, dass die Software gleichzeitig mit der konkreten Realisierung eines Experiments benutzt wird.

Schlüsselwörter: kognitive Evaluation, Lernsoftware, Darstellung, Modellisierung, Physik.

Resumen

El estudio presentado tiene por objeto la evaluación cognitiva de un software (Modelling Space) destinado a la enseñanza de las ciencias. La evaluación trata de las funciones de representación de las relaciones entre medidas de ciencias físicas en el contexto particular del estudio de la caída de un cuerpo sobre un plano inclinado. El impacto de la utilización del software se ha evaluado comparando las respuestas de dos grupos de alumnos del primer ciclo francés (2º y 3º de la ESO) que abordan dicho experimento antes o después de haber utilizado el software. Resulta que el uso del software puede facilitar la puesta en relación entre los aspectos de la realidad, su conceptualización y las representaciones simbólicas de esta última, con la condición de que intervenga al mismo tiempo que la realización concreta del experimento.

Palabras clave : Evaluación cognitiva, software educativo, representación, modelización, ciencias físicas.

INTRODUCTION

Ces dernières années, on a vu apparaître un certain nombre de logiciels destinés à l'enseignement de la physique présentés par leurs auteurs comme des outils d'apprentissage des démarches de modélisation (*Modellus, DMS, Stella, Interactive physique, boxer, ModelsCreator, etc.*). L'évolution des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) permet en effet de construire aisément des représentations de différente nature et de construire des systèmes où les utilisateurs peuvent être les acteurs de leur construction. L'usage de tels systèmes est souvent jugé a priori bénéfique aux élèves au plan de leurs apprentissages. Une telle position s'appuie sur deux présupposés : (1) la conceptualisation des situations découle des actions et des perceptions des élèves, (2) l'élève fait spontanément le lien entre les représentations et le monde des objets. Or de tels présupposés sont loin d'être étayés au plan psychologique. C'est pourquoi il est nécessaire de conduire des études permettant d'évaluer ce qu'apportent réellement, au plan cognitif, les logiciels éducatifs en considérant l'ensemble du système didactique (les élèves, les professeurs et les outils) (Chaptal, 1999).

Dans l'étude présentée ici, c'est le registre cognitif qui a été privilégié et non pas les registres didactique et pédagogique. En effet, il nous semble que tant qu'on n'a pas pu définir ce que des élèves peuvent apprendre avec un outil dans un contexte favorable, il est prématuré de se préoccuper des conditions didactiques de son usage dans des contextes de classes. Des études sont nécessaires avant de prôner l'utilisation de nouveaux outils afin d'en bien cerner l'intérêt et les limites (Legros & Crinon, 2002) Nous avons fait le choix de centrer l'évaluation cognitive sur un logiciel (*ModellingSpace*) offrant à l'élève la possibilité d'utiliser différents systèmes de représentation ; nous avons pu montrer qu'il était plus accessible à des élèves de collège qu'un logiciel comme « Physique par l'image » qui suppose la maîtrise de l'algèbre (Smyrnaïou, 2003).

Nous présenterons en premier lieu le logiciel, puis la méthode d'évaluation mise en place et enfin les données de l'évaluation..

1 LE LOGICIEL MODELLINGSPACE

ModellingSpace est un logiciel, à l'état de prototype au moment où l'étude a été conduite (Dimitracopoulou, Komis, Apostolopoulos & Politis, 1999 ; Komis, Dimitracopoulou, Politis & Avouris, 2001), conçu pour familiariser les élèves avec les démarches de modélisation. Pour les auteurs du logiciel, un modèle est une représentation rendant compte des transformations des systèmes : elle spécifie les entités qui constituent les systèmes et les relations entre des descripteurs de ces entités.

1.1 Les fonctions du logiciel

Le système propose (cf. Figure 1) :

- des entités représentées soit de manière figurative (des dessins, des photos, des films) soit de manière arbitraires (des formes géométriques dont l'utilisateur peut modifier la couleur, la taille, l'épaisseur du trait...), à gauche de l'écran ;
- des descripteurs (qualitatif, ordinal ou numérique) associé à chaque entité - en dessous de chaque entité ;
- des relations (sémantiques, logiques, semi-quantitatives, quantitatives) - à droite de l'écran.

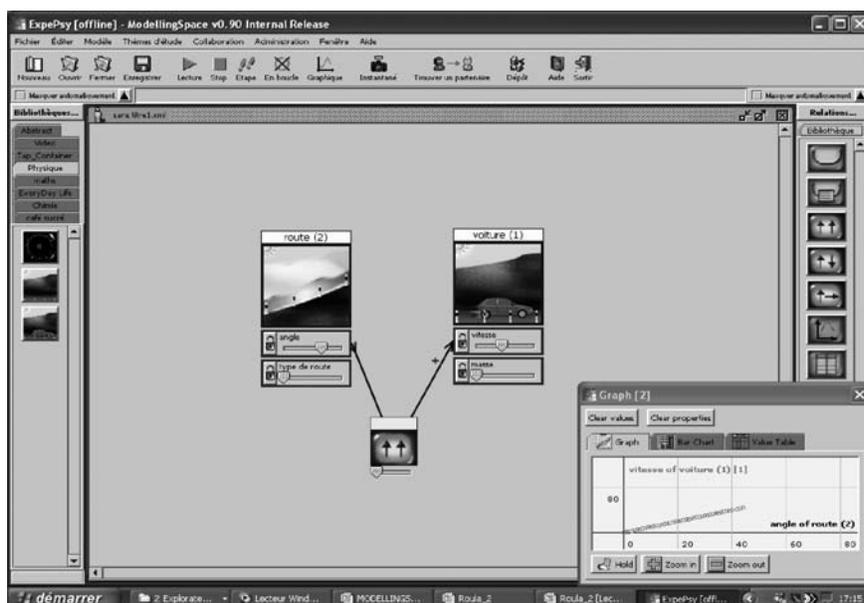


Figure 1 • Exemple de simulation

Une fois les relations spécifiées, s'il s'agit de relations quantitatives ou semi-quantitatives, l'utilisateur peut faire fonctionner le modèle, ce qui se traduit à l'écran par une transformation des entités en adéquation avec la relation qui est spécifiée. Plusieurs modèles peuvent être construits et fonctionner en même temps. Le système permet de modifier les modèles, de les enregistrer, de les construire à plusieurs dans des contextes de communication à distance via internet. Les partenaires peuvent échanger des messages écrits dans un espace de discussion mais aussi échanger des modèles dans l'espace d'activité. Le système offre en outre des outils d'analyse des échanges entre les interlocuteurs (Avouris, Dimitracopoulou & Komis, 2001; Fidas, Komis & Avouris, 2001) Précisons que le système est très ouvert puisqu'il permet de construire de nouvelles entités ou d'en importer. On peut aussi décider de limiter les choix possibles d'entités et de relations pour un usage didactique déterminé. La description détaillée du logiciel est accessible sur le site suivant : www.modellingspace.com

2.2 La fonction de représentation

Nous présentons plus en détail une des fonctionnalités du logiciel qui a fait l'objet de l'évaluation présentée ici : l'utilisation de différents systèmes sémiotiques.

Une relation peut être exprimée de différentes manières : une expression verbale, un codage graphique avec des flèches de taille variable (par

exemple, $\uparrow\uparrow$ signifie la co-variation de deux descripteurs), une expression logique, une expression mathématique, un graphe ou un tableau de mesures (cf. figure 1). Il est ainsi possible de construire plusieurs modèles et d'examiner simultanément leur fonctionnement (Komis, Dimitracopoulou & Politis, 1998 ; Politis, Komis & Dimitracopoulou, 2001). En comparant les transformations des entités (représentées de manière figurative par des images dynamiques) associées à diverses expressions des relations, il est possible d'appréhender la compatibilité ou l'incompatibilité des expressions relationnelles.

Par exemple, la figure 2 présente deux modèles de la même situation, l'un établissant une relation semi-quantitative de co-variation et l'autre une relation quantitative de type « relation linéaire » (proportionnalité). La première relation étant posée, on peut examiner comment les élèves l'expriment mathématiquement et s'ils modifient la relation au vu des différences de fonctionnement du modèle.

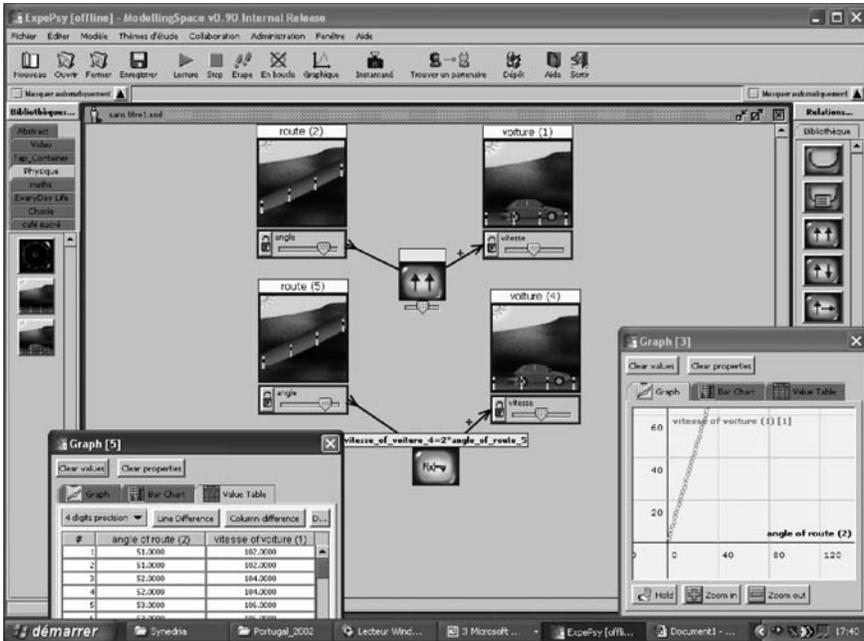


Figure 2 • Deux modèles qui représentent la même situation

Cette possibilité de jouer avec différentes formalisations des relations et de les comparer nous semble tout à fait importante dans le cas des apprentissages scientifiques nécessitant l'appréhension de relations formelles. De nombreuses études montrent en effet qu'elles sont d'un abord très difficile pour les élèves (Cuoco, 1994 ; Kaput, 1987 ; Goldin, 1987 ; janvier, 1987 ; Lesh *et al.* 1987 ; Moschkovich *et al.* 1993 ; Monk, 1992). En effet, Il

semble maintenant acquis que la construction du sens de systèmes symboliques nouveaux pour les élèves procède cognitivement d'une mise en relation de représentations familières et de représentations nouvelles (Duval, 1988 ; Weil-Barais & Lemeignan, 1989 ; Weil-Barais & Lemeignan, 1990 ; Lemeignan et Weil-Barais, 1993 ; Lemeignan et Weil-Barais, 1994). Rappelons que la maîtrise des significations que véhiculent les différents systèmes sémiotiques inventés par les cultures pour exprimer des relations entre entités et grandeurs constitue un enjeu fondamental de l'éducation scientifique. Les jeux de traduction des relations entre variables décrivant les entités que le logiciel permet paraissent donc essentiels dans une perspective d'apprentissage des sciences.

2 L'ÉVALUATION DU LOGICIEL

Partant de l'analyse selon laquelle le logiciel ModellingSpace pourrait faciliter une approche relationnelle des phénomènes physiques, l'évaluation qui en a été faite est centrée sur cet aspect. L'expérience que nous avons considérée est celle de la chute d'un corps sur un plan incliné. Cette situation a été choisie parce que tout en étant familière, aux niveaux scolaires considérés, les élèves ne disposent pas de modèle physique adéquat. Cette situation ayant par ailleurs fait l'objet d'études en didactique, nous disposons d'un répertoire de réponses possibles de la part des élèves et d'interprétations de leurs erreurs (Chi, Feltovitch & Glaser, 1981 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1993 ; Dumas-Carré & Caillot, 1987 ; Dumas-Carré & Caillot, 1993 ; Dumas-Carré & Goffard, 1997).

2.1 Hypothèse

Compte tenu des fonctionnalités du logiciel concernant l'expression des modèles, on peut s'attendre à ce que les élèves utilisant le logiciel aient une approche différente de la situation physique. Entraînés à formaliser les entités constitutives du système en termes de grandeurs et de relations entre grandeurs, ils devraient rendre compte des transformations du système physiques d'une autre manière que les élèves n'ayant qu'une expérience pratique de la situation physique.

2.2 Méthode

De façon à pouvoir apprécier l'impact de l'utilisation du logiciel, les élèves ont été interrogés d'une part, dans le contexte de la réalisation matérielle de l'expérience et, d'autre part, dans le contexte de l'utilisation du logiciel. La moitié des enfants a d'abord été interrogée dans le contexte matériel

puis dans le contexte logiciel ; pour l'autre moitié c'est l'ordre inverse qui a été choisi. Cette méthode permet de comparer le traitement que font les élèves de la situation physique selon qu'ils ont ou non utilisé le logiciel. De même, ceci rend possible la comparaison de l'usage du logiciel selon l'existence d'un travail préalable avec des objets matériels.

Les élèves ont été vus individuellement, en dehors de la classe, dans une salle qui nous était réservée ; ils étaient informés qu'ils participaient à une étude concernant un logiciel pour l'enseignement des sciences, qu'ils ne seraient pas notés et que leurs réponses resteraient anonymes. Le statut d'étudiante et d'étrangère de la personne qui menait les entretiens a contribué à créer un climat de collaboration propice à l'expression des élèves. Les deux phases de questionnement (logiciel puis expérience ou l'inverse) leur étaient annoncées. Au cours de l'entretien, un même ensemble de questions était posé aux élèves, toujours dans le même ordre.

Les entretiens étaient enregistrés au moyen d'un magnétophone et ont fait l'objet d'une transcription intégrale. La durée de chaque entretien était de 30 à 40 minutes.

2.3 La situation-problème

Le problème proposé aux élèves est le suivant : « Une voiture sans moteur roule sur une route qui peut avoir une pente plus ou moins forte ». Un ensemble de questions sont posées aux élèves visant à les amener à s'intéresser aux relations entre la vitesse et la masse, la vitesse et l'angle de la route, la vitesse et le type de la route, la vitesse et le temps du déplacement.

2.3.1 Le contexte matériel

Chaque élève réalise une expérience concernant le déplacement d'un objet sur un plan incliné en manipulant les objets mis à sa disposition (des voitures de différentes tailles et des supports variés). L'expérimentateur demande aux élèves de décrire et d'expliquer leurs manipulations afin de comprendre comment ils conceptualisent les situations. Les questions posées sont les suivantes :

- Pourrais-tu faire en sorte que la voiture en plastique placée sur la surface de papier se mette en mouvement sans que tu aies à la toucher ? Pourquoi fais-tu comme cela ?
- Quels sont les facteurs qui ont un effet sur la vitesse de la voiture ?
- Sur quelle surface la voiture se déplace le plus vite ? Explique ta réponse.

– Une voiture roule sur un plan incliné. Imagine qu'une seconde voiture, plus grande cette fois, se déplace sur le même plan. Quelle est la voiture qui descendra le plus vite ? Explique ta réponse.

– Peux-tu dire quelle est la relation entre la vitesse du véhicule et la durée du déplacement?

Les termes et les expressions utilisées dans ces questions font partie du répertoire langagier des élèves interrogés. Nous avons évité d'utiliser des concepts physiques non encore maîtrisés par les élèves (masse, accélération, etc.).

2.3.2 Les informations présentées aux élèves avec *ModellingSpace*

L'écran de l'ordinateur présente l'image d'une voiture conçue comme une entité. On peut la décrire par sa masse et sa vitesse (c'est ce que *ModellingSpace* appelle des propriétés). Ces propriétés peuvent être modifiées. La modification de la masse est représentée par trois voitures de taille différentes. La modification de la vitesse est représentée par une augmentation du flou à l'arrière de la voiture comme on peut la constater sur les images reproduites dans la figure 3.



Figure 3 • La représentation de la modification de la masse et de la vitesse

La seconde entité est une route qui a deux propriétés : l'angle d'inclinaison et le type de route (cela correspond pour nous au coefficient de frottement, mais nous n'avons pas utilisé cette dénomination parce qu'elle est inconnue des élèves de collège concernés par l'étude). L'angle peut prendre différentes valeurs : la route peut être horizontale ou inclinée. La route peut être verglacée, mouillée, en béton ou en terre. Ces images correspondent à notre représentation du coefficient de frottement qui est minimal (zéro) dans le cas de route verglacée, maximal pour la route en terre ; les deux autres routes (mouillée et béton) correspondent à des valeurs intermédiaires (cf. figure 4).



Figure 4 • La représentation de la modification du coefficient de frottement et de l'angle d'inclinaison

Sur l'écran apparaît également l'image d'une horloge qui représente le temps nécessaire pour le déplacement de la voiture, qui a statut de variable dépendante par rapport aux entités qui ont statut de facteurs causaux.

L'expérimentateur ayant formalisé successivement à l'aide des outils décrits précédemment (entités et propriétés) les différentes relations semi-quantitatives (entre la masse et la vitesse, entre le type de route et la vitesse, entre la pente de la route et la vitesse du véhicule), les élèves sont invités à regarder à l'écran les images dynamiques qui correspondent à ces formalisations et à répondre à des questions du type : « d'après ce que tu as vu, peux-tu dire quelle est la relation entre la vitesse du véhicule et la pente de la route ? ». Dans un second temps, ils doivent choisir, parmi un ensemble de relations, celle qui convient le mieux et justifier leur réponse.

2.4 Population

Ce sont 26 élèves de collège fréquentant quatre classes de 4^e (13-14 ans) et de 3^e (14-15 ans) situées en région parisienne qui ont participé à l'étude. Les élèves ont été recrutés sur la base du volontariat.

3 RÉSULTATS

Les réponses des élèves ont été analysées en fonction du type de questions qui leur étaient posées. Dans le cadre de cet article, nous présenterons uniquement les données qui concernent l'appréhension d'une relation, celle entre l'inclinaison du support et la vitesse. Cette relation a été choisie car elle illustre parfaitement à la fois la méthode d'analyse employée et les résultats d'ensemble que nous avons obtenus. Nous présentons successivement les réponses des élèves dans le contexte de l'utilisation du logiciel, puis dans le contexte de l'utilisation des objets matériels.

3.1 Dans le contexte logiciel

3.1.1 L'appréhension de la relation

Lorsque les élèves ont vu les images dynamiques traduisant la relation entre la pente de la route et la vitesse du véhicule, la majorité des élèves (20 sur 26) affirment que la voiture va plus vite. Cependant, ils n'expriment pas la relation de co-variation entre la pente et la vitesse. Quatre élèves affirment que la voiture va moins vite, faisant ainsi une erreur d'interprétation des images, et deux ne se prononcent pas sur la vitesse mais sur l'état de la route ou évoquent l'accélération. Ainsi, contrairement aux attentes, les élèves n'expriment pas spontanément de relation entre les grandeurs.

3.1.2 Expression symbolique de la relation

Quand on leur demande de choisir l'expression symbolique la plus appropriée, la majorité des élèves (17/26) choisissent la relation qui exprime la co-variation ($\uparrow\uparrow$). Toutefois d'autres réponses apparaissent, souvent multiples (cf. tableau 1). On n'observe pas de différences notables entre les élèves de 4^e et ceux de 3^e.

	1 ^{re} relation ($\uparrow\uparrow$)	2 ^e relation ($\uparrow\downarrow$)	2 ^e 3 ^e relation ($\uparrow\downarrow$)(\uparrow -)	1 ^{re} 2 ^e 3 ^e relation ($\uparrow\uparrow$)($\uparrow\downarrow$)(\uparrow -)	4 ^e relation ($\uparrow\uparrow$)	Pas de relation	Total
quatrième	8	3	1	0	0	0	12
troisième	9	2	0	1	1	1	14
Total	17	5	1	1	1	1	26

Tableau 1 • La relation entre la vitesse du véhicule et l'inclinaison du plan

3.1.3 Justifications

Les justifications verbales des élèves sont de différentes natures. Elles sont commentées successivement et leur répartition est présentée dans le tableau 2.

- **Expressions d'une co-variation (COVA) ou d'une contra-variation (CONTRA)**

Par exemple, une élève de quatrième dit : « ...la pente, elle augmente et la voiture, elle va plus vite » (COVA). Les élèves qui choisissent la relation de co-variation utilisent des formes linguistiques appropriées. Les élèves qui ne produisent pas au plan langagier ces expressions relationnelles font des choix de relations semi-quantitatives erronées ou multiples, ce qui traduit leur

embarras. Une réponse erronée peut venir aussi du fait que les images dynamiques ne sont pas perçues comme les concepteurs de ces images s'y attendent. Par exemple, une élève de quatrième mentionne : « *plus la pente monte plus la vitesse de la voiture diminue* ». Une autre élève de troisième explique que « *plus la voiture, elle descend, plus la route elle monte* ». Ces élèves sont ainsi amenés à choisir la 2^e relation exprimant la contra-variation.

De telles observations mettent l'accent sur l'importance de l'appréhension des relations en langage naturel. L'hypothèse qu'on peut avancer est que si l'élève n'est pas capable d'appréhender des transformations de manière relationnelle au plan du langage naturel, il est incapable de le faire avec des représentations formelles.

- **Évocation de propriétés ou de concepts (POBJ)**

C'est le cas lorsque l'élève n'évoque qu'une des propriétés de l'objet ; par exemple : « ... *elle est plus rapide* », « *la voiture accélère quand c'est en pente...* »

- **Description séquentielle (DESC)**

Certains élèves décrivent le mouvement quand la voiture monte et quand elle descend, comme si les deux éléments de l'image et de l'icône représentaient des états successifs du mouvement. Par exemple un élève de troisième affirme : « *la voiture descend, elle va plus vite et quand elle monte, elle va moins vite* ». Une autre indique que « *la route monte (↑) et la voiture ralentit (↓), reste au même point* » et elle choisit la deuxième relation (↑↓). On retrouve là une stratégie de lecture séquentielle des images et des icônes déjà décrite par d'autres auteurs ; elle constitue un obstacle à une approche variationnelle des relations (Baillé et Maury, 1993 ; janvier, 1998).

La comparaison des justifications données selon que le logiciel a été utilisé avant ou après l'expérimentation avec les objets (cf. tableau 2) met en évidence que l'usage des expressions variationnelles est plus important lorsque les élèves ont au préalable expérimenté avec les objets. Le traitement séquentiel des images et des icônes sont peu fréquents (4 élèves sur 26) mais ils concernent surtout les élèves ayant utilisé le logiciel sans avoir expérimenté au préalable.

Ces résultats montrent que les élèves ne sont que la moitié à traiter de façon adéquate les informations présentées à l'écran de l'ordinateur et qu'ils sont plus nombreux à le faire lorsqu'ils ont pu au préalable manipuler les objets représentés à l'écran de l'ordinateur.

	<i>Modelling Space</i> (utilisé en premier)		<i>Modelling Space</i> (utilisé en second)		Nb d'élèves
	4 ^e	3 ^e	4 ^e	3 ^e	
Co-variation (COVA)	1	2	4	6	13
Co-variation inverse (CONTRA)	1	1	0	1	3
Propriétés des objets (POBJ)	1	4	3	0	8
Description séquentielle (DESC)	3	0	0	1	4
Autres réponses	1	1	0	1	3
Nombre d'élèves	6	7	6	7	26 ¹

Tableau 2 • **Justifications du choix des expressions relationnelles semi-quantitatives entre l'inclinaison et la vitesse en fonction des niveaux scolaires et de l'ordre d'utilisation du logiciel**

3.2 Dans le contexte matériel

Lorsque les élèves réalisent l'expérience physiquement, la question suivante leur a été posée : « Quand l'inclinaison du plan augmente, que se passe-t-il pour la vitesse ? (Elle ne change pas, elle augmente, elle diminue) ». Explique ta réponse.

3.2.1 Prédications concernant la vitesse

Tous les élèves, sauf un, répondent que quand l'inclinaison du plan augmente, la vitesse augmente aussi. Un seul élève (en quatrième) affirme qu'elle ne change pas : « Bah ! Ça ne change pas ».

3.2.2 Explication de la relation entre l'inclinaison et la vitesse

Les arguments avancés par les élèves sont plus diversifiés que dans le contexte logiciel. Ils sont commentés successivement et leur répartition est présentée dans le tableau 3.

– Relation de co-variation (COVA) entre l'inclinaison et la vitesse (plus... plus). Par exemple, un élève de troisième affirme : « *plus l'inclinaison, elle augmente plus la vitesse en descendant va augmenter aussi* » ou de contra-variation (CONTRA) : « *plus l'inclinaison est grande plus... euh, moins la voiture est retenue* ».

(1) Le total de cette colonne est supérieur au nombre total d'élèves car un élève peut donner plusieurs justifications.

– Évocation d'une propriété des objets (la voiture ou le support) assortie d'un terme comparatif du type « plus raide, plus grosse, plus forte » (POBJ). Par exemple, une élève de quatrième répond : « *elle (la vitesse) augmente parce qu'elle est plus raide la....* ».

– Mise en correspondance entre la situation physique et sa représentation à l'écran (CORR). Par exemple, un élève de troisième qui a déjà réalisé l'expérience avec le logiciel répond : « *ben, c'est..., ça revient à la même question que tout à l'heure* ».

– Mobilisation d'un concept physique comme l'accélération, la poussée (CNST). Par exemples : « *bah, la voiture, elle sera toujours poussée vers le bas* », « *ça va plus vite parce que la voiture, donc elle a plus de temps pour accélérer. Il y a plus d'espace pour accélérer* ».

– Constats du type : elle va aller plus vite, les roues tournent plus vite, etc. (CONS). Par exemple : « *elle augmente parce que les roues... euh... ça entraîne... les roues tournent plus vite* » (élève de troisième).

– Expression d'un sentiment de nécessité ou d'évidence du type « *c'est normal, logique ou c'est évident* » (EVID). Par exemple, un élève de quatrième dit : « *je ne sais pas, c'est évident, ça paraît tellement évident* ».

La moitié des élèves (13 sur 26) justifie par un constat leur prédiction relative à la vitesse en fonction de l'inclinaison du plan sur lequel la voiture se déplace. Ceci concerne en particulier les élèves qui n'ont pas encore utilisé le logiciel. Ceux qui ont utilisé préalablement le logiciel ne semblent pas appréhender la situation physique de manière singulière. Ils sont peu à mettre en correspondance spontanément l'expérience faite avec ce qu'ils ont vu préalablement à l'écran.

4 DISCUSSION

L'évaluation qui a été conduite s'est appuyée sur une étude préalable des fonctionnalités du logiciel et des activités cognitives qu'elles permettent. C'est ce qui a conduit à focaliser l'évaluation sur l'expression des relations entre grandeurs physiques à la base de la construction des modèles.

L'hypothèse de départ qui a fondé la démarche d'évaluation était que les élèves, incités par le logiciel à formaliser les entités constitutives du système en termes de grandeurs et de relations entre grandeurs, devraient rendre compte des variations observées d'une autre manière que les élèves n'ayant qu'une expérience pratique de la situation physique. L'examen des résultats obtenus conduit à une appréciation nuancée de cette hypothèse. Il apparaît en effet que les explications fournies par les élèves relèvent sensiblement des mêmes catégories, que les élèves aient traité la situation du plan incliné avant ou après l'utilisation du logiciel. Les simples constats prévalent

sur l'approche relationnelle. Rares sont les élèves ayant préalablement utilisé le logiciel qui mettent en relation ce qu'ils ont vu à l'écran de l'ordinateur et l'expérience matérielle. Ceci pourrait expliquer le fait qu'ils n'utilisent pas un mode d'explication que l'utilisation du logiciel tend à induire. Par contre, le fait d'avoir réalisé concrètement l'expérience conduit à une interprétation plus adéquate des représentations visibles à l'écran.

Si l'on compare les explications avancées par les élèves selon qu'ils expérimentent avec les objets et avec le logiciel, il apparaît que l'approche relationnelle variationnelle est beaucoup plus fréquente avec le logiciel qu'avec les objets (13 sur 26 dans le premier cas, contre 4 sur 26 dans le second cas). Cependant, cette approche apparaît surtout lorsque, préalablement à l'utilisation du logiciel, les élèves ont expérimenté avec les objets. Ce résultat plaide en faveur d'un aller et retour entre la pratique expérimentale et l'usage du logiciel, puisque d'une part l'expérimentation avec les objets permet une lecture plus pertinente des représentations apparaissant à l'écran de l'ordinateur et que, d'autre part, le lien n'est pas fait spontanément par les élèves entre le registre des représentations et celui des objets et des phénomènes.

Ces résultats obtenus sur des effectifs réduits d'élèves et pour une seule expérience mériteraient d'être confortés. En effet, ils attirent l'attention sur les bénéfices cognitifs de l'utilisation du logiciel, si elle est précédée d'une activité expérimentale impliquant des objets.

Les résultats obtenus nous confortent dans l'idée que ModellingSpace constitue un bon outil pour faire appréhender aux élèves les transformations des situations en termes relationnels. Toutefois, ils attirent l'attention sur la nécessité de pratiques expérimentales mettant en jeu des objets et des questionnements à leur propos.

La limite du travail présenté tient aux conditions de recueil des données : des entretiens individuels où nous nous sommes interdits d'apporter d'autres informations que celles fournies par les environnements eux-mêmes (matériel et logiciel). Des études ultérieures impliquant des petits collectifs d'élèves permettront de préciser ce que peuvent apporter les interactions entre élèves quant à l'approche relationnelle des situations.

BIBLIOGRAPHIE

AVOURIS N., DIMITRACOPOULOU A. & KOMIS V. (2001). On analysis of collaborative problem solving: An object-oriented approach, *Int. J. of Interactive Learning Research*.

BAILLE J. & MAURY S. (1993). Les représentations graphiques dans l'enseignement et la formation. *Les Sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, numéro spécial, 1-3.

- CHAPTAL A. (1999). *La question de l'efficacité des technologies d'information et de communication dans l'enseignement scolaire. Analyse critique et communicationnelle des modèles américains et français*. Thèse, université Paris 10.
- CHI M. T. H., FELTOVICH P. & GLACER R. (1981) : Categorization and representation of physics problems by experts and novices, *Cognitive Sciences*, n° 5, p. 121-152.
- CUOCO A.-A. (1994) : Multiple representations of functions. In J. Kaput & E. Dubinsky, *Research issues in undergraduate mathematics learning*, p. 121-140. Washington : Mathematical Association of America.
- DIMITRACOPOULOU A., KOMIS V., APOSTOLOPOULOS P. & POLITIS P. (1999). Design principles of a new modelling environment for young students, supporting various types of reasoning and interdisciplinary approaches. In S. Lajoie & M. Vivet, *Artificial Intelligence In Education, Open Learning Environments: New Computational Technologies to Support Learning Exploration and Collaboration, Proceedings 9th International Conference on Artificial Intelligence in Education*, Le Mans : IOS Press, p. 109-120.
- DUMAS-CARRE A. & CAILLOT M. (1987) : Résolution de problèmes et apprentissage de la physique. In G. Vergnaud, J. Brousseau et M. Hulin : *Didactique et Acquisition des connaissances scientifiques*. Grenoble, La Pensée Sauvage, p. 217-227.
- DUMAS-CARRE A. & CAILLOT M. (1993) : Résolution de problèmes et apprentissage de la physique. In S. Johsua & J.-J. Dupin : *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.
- DUMAS-CARRE A. & GOFFARD M. (1997) : *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique*. Paris : Armand Colin / Masson.
- DUVAL R. (1988). Graphiques et équations : l'articulation de deux registres. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, vol. 1, p. 235-253.
- FIDAS C., KOMIS V. & AVOURIS N.M. (2001). Design of collaboration-support tools for group problem solving *Proceedings PC HCI 2001*, December 2001, Patras.
- FRANCESCHELLI S. & WEIL-BARAIS A. (1998). La construction d'un modèle en mécanique : analyse des interactions professeur-élèves. In A. Dumas Carré & A. Weil-Barais : *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*, p. 211-238. Berne : Peter Lang.
- FRANCESCHELLI S. & WEIL-BARAIS A. (1999). Interactions professeur-élèves dans la construction d'un modèle en mécanique. In M. Gilly, J.P. Roux & A. Trognon (Eds.). *Apprendre dans l'interaction : analyse des médiations sémiotiques*, p. 241-257. Nancy : Presses Universitaires de Nancy.
- GOLDIN G. (1987). Cognitive representational systems for mathematical problem solving. In C. Janvier (Ed), *Problems of representation in the teaching and learning of mathematics*. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- JANVIER C. (1987). Translation processs in mathematics education. In C. Janvier, *Problems of representation in the teaching and learning of mathematics*. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- JANVIER C. (1998). Développer différents modes de représentations symboliques d'une relation entre grandeurs. In A. Dumas Carré & A. Weil-Barais. *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*, p. 79-103. Berne : Peter Lang.
- KAPUT J. (1987). Transforming algebra from an engine of inequity to an engine of mathematical power by "algebrafying" the K-12. *Proceedings of the 17th national council of teacher of mathematics*.
- KOMIS V. & MICHAELIDES P. (1996). « Logiques d'usage et enseignement des nouvelles technologies à l'école élémentaire », *E.P.I. (Enseignement Public et Informatique)* n° 84, p. 157-170.
- KOMIS V., DIMITRACOPOULOU A. & POLITIS P. (1998). Contribution à la conception et au développement d'un environnement de modélisation. In J.-F. Rouet et D. De La Pasardière (Eds), *Quatrième colloque hypermédias et apprentissage*. Poitiers : INRP, p. 263-268.

- KOMIS V., DIMITRACOPOULOU A., POLITIS P. & AVOURIS N. (2001),. Expérimentations sur l'utilisation d'un logiciel de modélisation par petits groupes d'élèves. *Sciences et techniques éducatives*, vol. 8, n° 1-2, p. 75-86.
- KULIK J.A. (1994). Meta-analytic studies of findings on computer-based instruction. In E. Baker & H. O'Neil, *Technology Assessment in Education and Training*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- LEGROS D. & CRINON J. (2002). *Psychologie des apprentissages et multimédia*. Paris : Armand Colin.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1990). *L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie*. Rapport de fin de contrat LIREST- INRP, Enseignement et apprentissage de la modélisation.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en physique ; l'enseignement de la mécanique*. Paris : Hachette.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1994). Developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, vol.16, n° 1, p. 99-120.
- LESH R., POST T. & BEHR, M. (1987). Representations and translations among representations in mathematics learning and problem solving. In C. Janvier, *Problems of representation in the teaching and learning of mathematics*, p. 33-40. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- MONK S. (1992). Students understanding of a function given by a physical model. In G. Harel & E. Dubinsky, *The concept of function : aspects of epistemology and pedagogy*, p. 175-194. Washington : Mathematical Association of America.
- MOSCHKOVICH J., SCHOENFELD A. & ARCAVI A. (1993). Aspects of understanding : on multiple perspectives and representations of linear relations and connections among them. In T.A. Romberg, E. Fennema & T. Carpenter, *Integrating research on the graphical representation of function*, p. 69-100. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- POLITIS P., KOMIS V., & DIMITRACOPOULOU A. (2001). ModelCreator : un logiciel de modélisation permettant l'utilisation des règles logiques et la prise de décision, *Revue de l'Enseignement Public et Informatique*, vol. 102, p. 179-199.
- SWITZER T. J., CALLAHAN W. P. & QUINN L. (1999). Technology as facilitator of quality education: An unfinished model. *Paper presented at Society for Information Technology and Teacher Education*, San Antonio, TX, March.
- VOSNIADOU S., DE CORTE E., MANDL H. (1994). *Technology-Based Learning Environments. Psychological and Educational Foundations*, vol. 137, Springer.
- WEIL-BARAIS A. & LEMEIGNAN G. (1989). A propos de recherches sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences physiques. *Cahiers de Beaulieu Recherches et informations pour l'enseignement des disciplines scientifiques et techniques*, vol. 9, p. 33-47.
- WEIL-BARAIS A. & LEMEIGNAN G. (1990). Apprentissage de concepts et modélisation. *European Journal of Psychology of Education*, vol. 5, p. 391-415.
- WEIL-BARAIS A. (1997). De la recherche sur la modélisation à la formation des professeurs de physique : comment s'opère la transition ? *Shkolé, Cahiers de la recherche et du développement*, vol. 7, p. 141-154.
- WENGLINSKY H. (1998). *Does it compute ?* Princeton, New Jersey : ETS.

Book reviews

BAYRAM Z. (2005). *Contrôle de l'activité en chimie*. Thèse de doctorat, École normale supérieure de Cachan, 140 p.

Le travail de Z. Bayram est centré sur la pratique du contrôle de l'activité (de laboratoire) en chimie et sur l'apprentissage de cette pratique dans le curriculum de chimie de l'enseignement général au lycée. C'est un sujet intéressant car, si de nombreux travaux ont été consacrés aux différents enjeux des activités de laboratoire dans l'enseignement des sciences physiques, peu se sont intéressés à l'apprentissage des savoirs pratiques « auto-contrôlés » dans l'enseignement de la chimie. Le travail comporte trois volets : l'analyse de la pratique de l'activité de contrôle auprès de chimistes experts, l'analyse des épreuves d'évaluation du baccalauréat « censées donner une image de ce qui est attendu en fin de parcours au lycée en termes de savoir pratique gestuel et technique non énonçable mais auto-contrôlé » et la recherche dans les manuels d'indices textuels permettant d'inférer une éventuelle prise en charge d'un apprentissage progressif de l'activité manipulative. Si la pertinence de ces trois volets n'est pas discutable, celle de leur ordre de présentation peut l'être.

Le cadre théorique du travail est clairement présenté dans le premier chapitre. Il consiste en une clarification de l'usage de différents termes : action, tâche, activité, opération, contrôle, compétences et savoirs. Il débouche sur le sens à donner au mot « contrôle » dans ce travail : « *action cognitive faisant partie intégrante de l'activité, mais qui apparaît également à des moments particuliers d'évaluation d'un résultat* », par l'acteur de l'activité. Si ce chapitre présente un certain caractère formel, il a le mérite de préciser la signification at-

chée à un vocabulaire parfois utilisé sans discernement dans les communautés de recherche et d'enseignement, tant au lycée qu'à l'université.

Le chapitre suivant cherche à mettre à jour, d'une part les processus de contrôle de l'activité de laboratoire chez les chimistes expérimentés et d'autre part comment cette activité de contrôle est transmise aux étudiants et stagiaires. Les données ont été recueillies par entretiens auprès d'enseignants chercheurs de différents domaines. L'analyse qualitative de l'ensemble des entretiens a permis, dans un premier temps, de repérer les caractéristiques du « contrôle de l'activité » évoquées par les experts dans leur posture de chercheur. Il en ressort que c'est une activité routinière, faisant partie de leurs savoirs professionnels, qui peut s'exercer à différents moments de l'activité de laboratoire et qui porte aussi bien sur la mise en œuvre et le déroulement de l'expérience que sur l'évaluation des résultats. Pour mettre en œuvre cette activité les experts mobilisent différentes catégories de ressources : des savoirs théoriques, des savoirs pratiques, des savoirs techniques et des savoirs d'expérience. Ils évoquent également des pratiques techniques, organisationnelles et sociales. Les différents aspects du contrôle de l'activité sont récapitulés dans un schéma d'ensemble. Dans un deuxième temps, une analyse quantitative des discours des experts a été réalisée selon trois dimensions : les trois types de situation évoqués par les experts (reproduction, extension, exploration), les éléments à contrôler dans la manipulation, les ressources cognitives mobilisées. Cette partie du travail relative aux processus du contrôle de l'activité par les chercheurs est intéressante puisque, outre l'émergence de la notion, elle renseigne sur la vision réflexive qu'ont les chimistes de leur propre activité. Dans une perspective discipli-

naire de l'enseignement de la chimie, ce chapitre permet de reconnaître des contenus trop souvent envisagés de façon implicite et donc généralement absents des programmes.

Dans le chapitre trois sont analysées les « capacités expérimentales » évaluées lors des épreuves de chimie proposées en 1999 aux candidats du baccalauréat d'enseignement général. Dans un premier temps, en se référant aux grilles d'observation fournies aux professeurs, elles sont catégorisées en techniques chimiques, utilisation de la verrerie, utilisation d'instruments ou appareils et organisation de la paillasse et une répartition, en pourcentage, de différentes activités génériques correspondant à ces catégories est donnée. Puis, à partir de l'analyse des énoncés destinés aux élèves, la nature des actions concernées et les ressources dont les élèves sont censés disposer pour contrôler leur activité sont mises en évidence. La présentation synthétique des différentes manipulations et leur analyse en termes d'actions évaluées, de capacités et de compétences à mettre en œuvre et de ressources ou informations disponibles pour leur contrôle fait apparaître l'aspect essentiellement manipulatoire de l'évaluation et la faible part réservée au contrôle de l'activité dans cette épreuve pratique. L'auteur ne contextualise cependant pas suffisamment cette épreuve. Les contraintes de durée et de positionnement ne sont pas mentionnées. La question du statut des « travaux pratiques » est ici sous-jacente : le contrôle de l'activité relève sans doute d'une perspective plus « instruites » que la perspective plutôt « manipulatoire » actuellement retenue.

Le chapitre quatre est consacré à l'analyse des protocoles opératoires figurant dans quelques manuels scolaires en vue d'en inférer la manière dont est pris en charge l'apprentissage progressif du contrôle des activités de laboratoire de la 2nd à la terminale. Sont récapitulées dans des tableaux les données tirées de l'annexe : l'évolution du matériel utilisé dans les protocoles des manuels, la progressivité (en nombres et pourcentages) des actions et des informations figurant dans les protocoles ainsi que des guidages (repères donnés et non donnés) concernant l'action ou le contrôle de la réussite. Le manuscrit n'éclaire cependant pas suffisamment le lecteur sur l'usage des protocoles opératoires des manuels qui, comme le souligne l'auteur, ne sont vraisemblablement pas utilisés par les

élèves en autonomie. On peut penser que la prise en considération des instructions officielles, des documents d'accompagnement et des « livres du professeur » aurait pu apporter un éclairage plus complet, en particulier sur les apprentissages qui sont à la charge du professeur. D'un point de vue pédagogique ce chapitre souligne à juste titre la difficulté de construire de façon cohérente et progressive un cours, en particulier lorsqu'il est l'œuvre d'un groupe d'auteurs.

En conclusion, Z. Bayram a réalisé un travail exploratoire intéressant qui peut contribuer à formaliser des éléments susceptibles d'être utilisés pour gérer une maîtrise progressive des activités de contrôle lors de l'apprentissage de la chimie. Il devrait retenir l'attention des enseignants et des formateurs d'enseignants.

A. Dumon

D. CANGUILHEM (2004). *Le Merveilleux scientifique : photographies du monde savant en France 1844-1918*. Gallimard, 188 p.

Dans une inhabituelle alliance entre la science et le beau, le livre *Le Merveilleux scientifique : photographies du monde savant en France* contient un ensemble des photographies d'abord destinées à servir la recherche scientifique, mais qui en outre ont en commun leurs qualités esthétiques ou leur valeur historique, puisque la plupart de ces images datent du XIX^e siècle. Un ouvrage semblable intitulé *Paysages des sciences* avait été préparé par Michel Serres, mais regroupait surtout des photographies récentes et en couleurs montrant des microorganismes, des étoiles, des virus¹.

Dans ce cas-ci, Denis Canguilhem a privilégié des documents ayant une valeur à la fois scientifique, esthétique et historique. Les matériaux utilisés et les sujets retenus sont d'une étonnante variété, comme ces photographies anciennes de la Lune prises en 1856 et en 1893 (p. 74-75), les nombreuses photos agrandies de micro-organismes (p. 61-63), des radiographies humaines - mais aussi d'espèces végétales (p. 92-94); une typologie des nuages (p. 124-125), des phénomènes électriques naturels comme la foudre, datant de 1886 (p. 118-121). Fait exceptionnel, on peut

aussi observer une photographie du ciel étoilé du 31 août 1885, réalisée à l'Observatoire de Paris (p. 80), ou encore une photographie de Jupiter, telle que vue en 1886 (p. 84). Certaines des photographies de la dernière partie résultent des expériences d'Étienne-Jules Marey (1830-1904) sur le mouvement, l'hydrodynamique et la cinématique (p. 138-141). Dans son chapitre introductif, Denis Canguilhem rend d'ailleurs hommage au génie à la fois scientifique et artistique de Marey, « désigné comme père du cinéma et précurseur de l'art moderne » (p. 24)².

Pour Denis Canguilhem, il importe de mettre en évidence le caractère esthétique de la photographie scientifique, ce qui était déjà fait dès le début du xx^e siècle en France dans certains magazines populaires sur la photographie. L'auteur retrace le lent processus de partage de l'image scientifique par des usagers qui ne se réclamaient pas de la même science : en l'occurrence les artistes et les esthètes. On constatait déjà que parfois, contre toute attente, la technique devenait accidentellement belle. C'est pourquoi un artiste surréaliste comme Man Ray ou un écrivain comme André Breton ont utilisé des images scientifiques pour les inclure dans leurs propres expériences : Man Ray tournait des films d'avant-garde parfois inspirés d'images techniques ou abstraites; Breton avait écrit en 1934 un article resté célèbre, « La beauté sera convulsive », comprenant des images d'éclairs et de phénomènes électriques. De nos jours, on consacre des expositions à ces photographies scientifiques, non pas dans des musées des sciences ou d'histoire naturelle, mais bien au Centre Pompidou à Paris (p. 24).

Il faut féliciter Denis Canguilhem d'avoir eu une idée aussi originale et fertile. Sans prétendre à l'exhaustivité, son étude est d'une grande clarté et très riche sur la plan historique. La documentation donne souvent accès à des images rarement vues. L'ensemble des photographies demeure insolite, bien que quelques cas s'avèrent assez choquants, pour ces exemples de pathologies nous donnant à voir sans aucun recul des photographies de patients atteints de graves lésions ou de maladies de peau, une séance d'électrochocs, la radiographie d'un cadavre, ou encore une série de gros plans sur les parties génitales d'un hermaphrodite. Pour ces raisons, cet ouvrage conviendra d'abord aux éducateurs avertis et ne se destine pas nécessairement aux élèves

de tous âges. En revanche, ces *Photographies du monde savant en France 1844-1918* pourront stimuler certains chercheurs en histoire de la médecine et des sciences, ainsi que des spécialistes en études photographiques.

Y. Laberge

Notes :

(1) Michel Serres et Nayla Farouki. *Paysages des sciences*. Paris : Éd. du Pommier, 1999.

(2) Sur les expériences de ce photographe récemment exposées au musée d'Orsay, voir le livre de Georges Didi-Huberman et Laurent Mannoni. *Mouvements de l'air : Étienne-Jules Marey, photographe des fluides*. Paris : Gallimard et Réunion des musées nationaux, 2004.

HRAIRI S. (2004). *Formes et fonctions des expériences dans l'enseignement de la biologie : le cas de la digestion dans le curriculum tunisien*. Thèse de doctorat, ENS de Cachan et université de Tunis (cotutelle), 320 p. plus annexes.

L'objet de cette thèse est clairement présenté dans l'introduction : étudier l'enseignement expérimental, en utilisant une approche curriculaire sur un domaine particulier de la biologie, la digestion.

La première partie développe les références didactiques : elle présente les recherches déjà réalisées sur l'enseignement de la digestion, donne des éléments d'histoire des sciences qui permettent de repérer de possibles obstacles épistémologiques et fait un état des lieux sur la question des pratiques expérimentales scolaires. Notons que l'affirmation selon laquelle les vitalistes « ont nui considérablement à l'avancement de la science » mériterait d'être nuancée à la lecture de Canguilhem.

La seconde partie situe la problématique dans le cadre proposé par M. Coquid pour les fonctions du « rapport expérimental au vivant » : fonction de scientificité, fonction d'authenticité, fonctions éducatives, finalités pédagogiques. Elle inscrit la méthodologie dans l'approche curriculaire telle que l'a définie J. Lebeaume : pour trois années de l'enseignement tunisien où est enseignée la digestion (9^e année de base, 3^e année secondaire et 4^e année d'université), il s'agit d'étudier le

curriculum prescrit, potentiel et réel de l'enseignement expérimental de la digestion. Diverses données sont collectées pour les trois niveaux étudiés : programme (curriculum prescrit), fiches d'accompagnement et manuels (curriculum potentiel), enregistrement de cours et entretiens avec les enseignants et les apprenants (curriculum réel).

La dernière partie, la plus importante, est consacrée à l'analyse des données.

Il s'agit d'abord, pour chacun des niveaux, de caractériser les différentes composantes du curriculum. On a là une somme importante pour caractériser le curriculum tunisien et la progressivité de l'enseignement expérimental de la digestion. Il faut regretter cependant que les catégorisations construites lors des analyses de contenu ne soient pas plus explicites et que la mise en forme des données reste superficielle.

Le dernier chapitre de la thèse est certainement le plus intéressant. Il porte sur les conceptions des apprenants et des enseignants tunisiens sur le vivant, à partir de leurs positions par rapport à l'enseignement expérimental de la digestion. Il apparaît que la problématique de l'articulation entre expérimentations *in vivo* et *in vitro* n'est pas présente dans les curriculums prescrits ; et si elle est un peu présente dans les curriculums réels et les propos des enseignants, elle se limite le plus souvent à la question des conditions physico-chimiques de la digestion.

Ce chapitre se termine par une étude des conceptions sur le vivant des différents protagonistes. Les catégories construites pour cette analyse manquent certainement de précision. Elles permettent cependant à Sameh Hrairi de montrer la forte présence des conceptions « analytiques biochimiques » chez les étudiants et les enseignants, et l'importance des conceptions « analytiques simples » chez les lycéens et les collégiens. Cela est justement mis en relation avec les enseignements expérimentaux de la digestion qui sont essentiellement analytiques et chimiques.

En conclusion, cette thèse présente des analyses de qualité inégale. Mais elle dégage, par les données recueillies et la question de l'articulation *in vivo* / *in vitro*, des résultats intéressants pour la didactique de la biologie.

C. Orange

PEKDAG B. (2005). *Influence des relations entre le texte et l'image d'un film de chimie sur l'activité cognitive d'un apprenant*. Thèse de doctorat, université Lyon 2, 167 p. plus annexes.

Dans un mémoire de 167 pages (accompagné d'un document annexe de 600 pages), l'auteur se propose de répondre aux questions qui se posent concernant l'élaboration de films à visée didactique, leur utilisation par les élèves et leur impact sur l'apprentissage. Son hypothèse semble être que « les paramètres didactiques essentiels pour le fonctionnement cognitif d'un apprenant qui regarde un film sont, d'une part la façon dont les connaissances sont représentées dans le film (représentations sémiotiques et texte) et, d'autre part, les relations entre ces connaissances ». Afin de collecter les données de recherche, deux types de films ayant le même contenu visuel ont été élaborés. Des films P, pour lesquels le texte décrit surtout les aspects perceptibles de l'image, et des films R pour lesquels le texte se place à un niveau d'interprétation plus conceptuel. La question centrale de la recherche est : « La nature perceptible ou reconstruite des informations présentes dans un film de chimie influence-t-elle leur utilisation par les élèves lors de la réalisation d'une tâche ? ».

Le premier chapitre est consacré à la présentation des différents types de supports rassemblés sous la dénomination « Technologies de l'information et de la communication » et aux travaux antérieurs menés sur leur utilisation à des fins d'apprentissage. Son objectif est de faire ressortir l'originalité de l'outil « hyperfilm », défini comme un « ensemble de petits films et de liens au sein d'un hypermédia », élaboré pour la recherche. L'exposé de l'organisation des hyperfilms réalisés est clair et bien structuré.

Dans le chapitre 2 sont présentées les bases théoriques sur lesquelles repose la réalisation des hyperfilms. En ce qui concerne la catégorisation des connaissances mises en jeu, l'auteur adopte le cadre théorique de son laboratoire : niveaux perceptible et reconstruit, constitués d'objet, de propriétés et d'événements, et niveau théorique. Partant de l'hypothèse que les principales difficultés rencontrées par les élèves en chimie se situent dans

l'articulation entre les connaissances perceptibles et reconstruites, les films élaborés doivent favoriser la relation entre les différents niveaux de connaissances. Les connaissances prises en considération pour l'élaboration des films et la création des liens au sein des hyperfilms découlent de l'ouvrage utilisé par les élèves dont le contenu a été traduit sous forme de cartes conceptuelles. La réflexion menée pour l'élaboration de l'outil hyperfilm a été conduite de façon sérieuse et a débouché sur un produit intéressant.

Le troisième chapitre s'intéresse à la façon dont les élèves utilisent un hyperfilm et comment ils le mettent en relation avec la tâche à effectuer : quelles actions motivent le passage entre la tâche et l'hyperfilm ? En se basant sur les notions de tâche, d'action, d'opération et d'activité ainsi que sur des travaux relatifs à la recherche d'information et au déplacement d'un utilisateur à travers un réseau de liens, une méthodologie d'investigation pertinente a été construite. Sont envisagées en particulier l'adaptation des élèves aux hyperfilms et leur désorientation lors de la navigation. Ces deux notions structurent bien l'étude, à travers une série d'indicateurs objectifs bien choisis, nourris par quelques analyses de transcriptions relatives à la pratique effective. La conclusion de ce chapitre apporte un éclairage intéressant sur le fonctionnement des élèves face à un outil permettant la navigation dans un réseau d'informations.

Dans le chapitre 4 ce sont les facteurs influençant le choix des films par les élèves en relation avec les concepts mentionnés dans les pages « film » des hyperfilms qui sont recherchés. L'auteur produit tout d'abord une nouvelle synthèse d'éléments théoriques concernant notamment les processus de catégorisation et de conceptualisation, de mémorisation, l'apprentissage multimédia, et les relations pouvant être établies entre ces différents domaines. L'analyse des résultats fait bien ressortir que les élèves à qui une tâche est prescrite et qui disposent d'une banque de films vont volontiers chercher des informations sur le(s) concept(s) mis en jeu dans la question quand leurs connaissances sont insuffisantes. Le choix des films dépend bien évidemment de la consigne mais surtout de « traits de surface ». Les informations vues et entendues sont mieux mémorisées que les autres et il est constaté une supériorité de la mémorisation des informations contenues dans l'image par

rapport à celles contenues dans le texte. Enfin, plus le film contient un grand nombre d'informations ou des informations d'un niveau abstrait, plus la charge cognitive est importante et moins ces informations sont mémorisées. Autant de conclusions intéressantes pour les concepteurs de films.

L'influence de la relation entre la nature (P ou R) du texte et l'image sur l'utilisation d'un film par les élèves est abordée dans le chapitre 5. Trois binômes disposaient de la version P et trois de la version R. La liberté de choix des films était laissée aux élèves mais la consultation de quatre d'entre eux était cependant prescrite par la tâche. Des graphes ont été élaborés pour mettre en relation la nature des connaissances mises en jeu dans un film et la nature de celles utilisées par les élèves. De tels graphes permettent bien de repérer les différences entre les deux versions du film et de faire apparaître la nature des connaissances utilisées par les élèves. Les résultats qualitatifs et quantitatifs permettent d'établir deux règles : « règle 1 : si le texte d'accompagnement évoque plus les images, celles-ci sont plus utilisées par les élèves ; règle 2 : la nature perceptible ou reconstruite des connaissances reprises par les élèves est fortement influencée par la nature des films visionnés ».

Le dernier chapitre analyse la façon dont les élèves construisent leurs réponses écrites aux questions de la tâche. Quelle est l'origine des informations présentes : copier-coller de mots du texte, copier-coller d'une image, interprétation de l'image, utilisation de l'idée du film, sans utilisation du film ? Par rapport à une carte de cheminements conceptuels possibles, élaborée a priori, pour apporter une réponse complète à chaque question, quelles sont les étapes repérées dans les productions des élèves ? Les résultats quantitatifs semblent montrer que l'utilisation des films reconstruits permet aux élèves de construire plus d'étapes dans leur cheminement conceptuel, principalement à partir de copier-coller de mots du texte puis de copier-coller de l'image. La conclusion qui en est tirée est que « Le film R engendre probablement une meilleure construction des connaissances chez l'élève qui le regarde et une utilisation plus pertinente et plus fréquente des informations véhiculées ».

En conclusion, Monsieur Pekdag a réalisé un gros travail ayant conduit à un corpus de données très important. Il s'agit d'un travail mené

d'une manière sérieuse et approfondie et débouchant sur des constatations intéressantes pour guider l'élaboration et l'utilisation des films dans l'enseignement de la chimie.

A. Dumon

ACTUALITÉ DES COLLOQUES

Conference announcements

VIII^e BIENNALE DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION EXPÉRIENCE(S), SAVOIR(S), SUJET(S)

Du 11 au 14 avril 2006 à Lyon (France) :

Thème : Les biennales ont pour objectif de faire connaître, tous les deux ans, des recherches et des innovations en matière éducative, scolaire ou dans le domaine de la formation :

- les recherches analysent, du point de vue des disciplines, les faits, les phénomènes et les contextes de l'apprentissage, de l'éducation et de la formation et contribuent directement à la transformation des situations pratiques et des systèmes d'éducation et de formation ;
- les résultats, l'état des questions débattues, les processus et les méthodologies font l'objet d'une attention particulière ;
- les innovations sont des transformations précises qui conçoivent, mettent en œuvre, analysent et évaluent des dispositifs nouveaux ou spécifiques ;
- se rattachent aux innovations les pratiques éducatives, pédagogiques ou formatives qui font l'objet d'un travail d'élucidation de la part des praticiens ; ces travaux ont aussi leur place dans la biennale.

Les biennales sont des lieux d'informations et de débats et non des colloques et des congrès :

- les chercheurs et les innovateurs s'adressent à un public diversifié et dialoguent avec lui. Toutes les formes de recherche et d'innovation sont accueillies, de même que tous les secteurs qui, aujourd'hui, y contribuent (éducation informelle ou formelle, enseignement de l'éducation nationale, de la justice ou de l'armée, éducation parentale, éducation des adultes, éducation confiée aux tutelles, auto-formation, formation à distance, éducation plus classique proposée par les dispositifs scolaires, etc.) ;
- le public visé (les « professionnels ») : enseignants, éducateurs et formateurs, administrateurs des institutions éducatives, responsables économiques et politiques chargés localement, nationalement ou internationalement des planifications et des décisions, responsables d'entreprises ou d'administrations concernées par l'éducation et la formation, industriels de l'éducation (éditeurs, libraires spécialisés, fabricants de jeux et de logiciels, journalistes des presses jeunes, ...), membres d'associations et partenaires sociaux concourant à l'éducation et à la formation, et enfin, les chercheurs eux-mêmes.

Les biennales sont internationales afin de développer les échanges.

La biennale de l'an 2006 devrait permettre aux chercheurs et aux praticiens de réfléchir ensemble aux enjeux pour les systèmes éducatifs des nouvelles formes de la valorisation de l'expérience et des savoirs dans la formation, et de permettre ainsi de mieux se situer comme sujets pleinement efficaces. Ces questions seront au cœur des rencontres qui scanderont chaque journée de la biennale.

Contact : L'organisation de la biennale s'appuie sur l'APRIEF (Association pour la promotion des recherches et des innovations en éducation et formation) et l'INRP (Institut national de recherche pédagogique).

Secrétariat du colloque INRP / APRIEF :
19 allée de Fontenay – BP 17424
69347 Lyon cedex 07
Tél. / Fax : 04 72 76 61 04
biennale@inrp.fr

COLLOQUE INTERNATIONAL JOCAIR'2006 : « PREMIÈRES JOURNÉES COMMUNICATION ET APPRENTISSAGE INSTRUMENTÉS EN RÉSEAU »

Du 5 au 7 juillet 2006 à l'université d'Amiens (France)

Thème : Ce colloque s'adresse au domaine spécifique de la mise en œuvre de modalités de formation ayant recours à des instruments informatisés de communication. Il vise à mieux comprendre comment la communication instrumentée par ces nouveaux outils se déploie dans certaines phases de formations ainsi que dans certaines activités d'élaboration ou d'échange de connaissances en contexte de travail.

Thèmes de contribution de recherche :

analyse des outils et des dispositifs de communication (forums, courriels, chats, wiki, blogs, e-portfolios, SMS, plates-formes collaboratives, ...), fonctionnalités, normes et standards ;

analyse des activités, des interactions et des productions associées à des pratiques liées à l'usage en éducation et formation d'outils de communication ;

acteurs de la formation : nouveaux intermédiaires, nouveaux rôles (tuteurs, animateurs, courtiers, ...) ou communautés (émergence, dynamiques d'évolution, ...) ;

contexte de la formation : industrialisation, marchandisation, qualité ;

théories et modèles de références (théories de la communication, théories linguistiques, théories de l'activité, théories de l'action...)

méthodologies d'analyse et modalités de traitement de données (outils linguistiques, outils d'analyse de fichiers log, questionnaires, entretiens, ...).

Thèmes des analyses de pratiques de formation :

Un forum sera organisé sur les pratiques actuelles du contexte de l'industrialisation et de la marchandisation de ou dans l'éducation et la formation ;

Une séance poster / démonstration présentera quelques usages des TIC en milieu éducatif. Chaque proposition comprendra un descriptif, le public, la durée, les éléments saillants, les questions qui se posent, etc. (1 page).

Contact : Propositions de communication à adresser par courriel à l'adresse suivante : jocair2006@u-picardie.fr

Calendrier : 15 janvier 2006 : date limite de soumission des propositions de communication.

15 mars 2006 : notification aux auteurs.

15 mai 2006 : réception des textes définitifs.

Responsables : Mohamed SIDIR, Georges-Louis BARON
et Eric BRUILLARD. www.dep.u-picardie.fr/jocair

ESERA SUMMER SCHOOL 2006 CALL FOR PHD STUDENTS' CONTRIBUTIONS TO THE ESERA SUMMER SCHOOL 2006

From the 15th to the 22th July 2006 at the university of Minho in Braga (Portugal)

Theme: Every two years, summerschools for science education PhD students are held. At a Summerschool, students present the research work they are carrying out and have opportunities to discuss this in depth with other PhD students and with experienced researchers. Each student is a member of a small group of 6-9 students and two experienced 'coaches' who work together throughout the Summerschool. Lectures and workshops are also provided by experienced tutors - and there are social events.

The maximum number of students attending a Summerschool should not exceed 45, with no more than 18 staff members. If more than this number apply, then participants are selected to ensure diversity of countries and departments. Also, in order to create optimal opportunities for discussion, and to enable the Summerschool to contribute to the students' work, students should not be too near the beginning or end of their PhD work.

The next ESERA Summer School will be held at the Institute of Child Studies of the University of Minho, in Braga, Portugal, 15-22 July 2006.

The deadline for submitting proposals is 1st December 2005.

- Schedule:
- Submission of proposals: 1 december 2005
 - Proposals reviewed before: 1 february 2006
 - Synopsis set up at the ERSERA website before: 1 may 2006
 - Registration before: 1 june 2006
 - Summer - School: 15-22 july 2006

Please name your synopsis file and application form with your name and send them as attached word-files to the following address: graca@iec.uminho.pt

- Contact: graca@iec.uminho.pt
www.naturfagsenteret.no/esera/summerschool.html
The organising Committee:
Graça S. Carvalho - University of Minho, Portugal.
Doris Jorde - University of Oslo, Norway.
Justin Dillon - King's College London, UK.
Pierre Clément - university Claude-Bernard Lyon 1, Lyon, France.
Maria José Gil Quilez - universidad de Zaragosa, Spain.

CONFERENCE OF ESERA 2007

The next esera conference will be held in Malmö (Sweden) from the 21st to the 26th August 2007.

Theme: Call for paper, information about the time: schedule for papers to ESERA 2007 will be published during the autumn.

Contact: www.mah.se/templates

DIDASKALIA

Note aux auteurs

DIDASKALIA publie des articles originaux, n'ayant pas fait l'objet de publication dans des revues, ouvrages ou actes de colloques ; nous vous remercions de bien vouloir nous le confirmer en nous adressant votre proposition d'article.

Pour nous aider à traiter vos textes, nous vous prions de suivre les consignes qui suivent.

LONGUEUR DU TEXTE :

Les « normes » sont...

– article de recherche : environ 15 pages (35 000 signes).

– compte rendu d'innovation : maximum 10 pages (25 000 signes).

Ce calibrage comprend **un résumé** en français et **un abstract** en anglais, dont les longueurs souhaitées sont – pour chacun – de 8 lignes environ, soit 550 signes. À la fin de chaque résumé, vous voudrez bien indiquer **cinq mots clés**. Il comprend également la place des figures qui doivent être fournies à part (compter 2 500 signes par page, soit par exemple 800 signes si la figure occupe un tiers de page). Pour les figures et illustrations ne prévoir que des documents reproductibles dans de bonnes conditions en noir et blanc.

Nous vous prions d'éviter les notes.

BIBLIOGRAPHIE

Suivre très précisément la norme suivante, en respectant les séparateurs.

– article de revue :

NOM Initiale du prénom. (date d'édition). Titre de l'article en minuscules. Titre de la revue, vol. X, n° Y, pages extrêmes.

exemple : WEIL-BARAIS A. & LEMEIGNAN G. (1989). À propos de recherches sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences physiques. *Cahiers de Beaulieu*, n° 9, p. 33-47.

– ouvrage :

NOM Initiale du prénom. (date d'édition). *Titre*. Lieu d'édition, Éditeur.

exemple : PIAGET J. & INHELDER B. (1968). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Neuchâtel, Delachaux & Niestlé.

– contribution à un ouvrage :

NOM Initiale du prénom. (date d'édition). Titre de la contribution. In Auteur(s) principal(aux) ou Éditeurs (Initiale prénom. nom en minuscules), *Titre de l'ouvrage*. Lieu d'édition, Éditeur, pages extrêmes.

exemple : BEAUFILS D., BLONDEL F.-M. & LE TOUZE J.-C. (1992). Utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques. In G.-L. Baron & J. Baudé (Éds), *L'intégration de l'informatique dans l'enseignement et la formation des enseignants*. Paris, INRP et EPI, p. 88-99.

Les rappels bibliographiques dans le texte seront effectués de la manière suivante : (Nom, date), (Nom 1 & Nom 2, date), ou, si plus de deux auteurs, (Nom 1 *et al.*, date).

Suite page suivante

DIDASKALIA

SAISIE DU TEXTE

Matériel et logiciels, utiliser de préférence...

- avec des micro-ordinateurs Macintosh : Word (différentes versions) ou MacWrite
- avec des compatibles PC : Word (différentes versions) ou Windows.

Si vous disposez d'autres configurations, consulter le secrétariat de rédaction de l'INRP avant d'envoyer la disquette.

Conserver toujours une **copie de sauvegarde** du texte.

Fournir, lors de la soumission d'un article à la revue **cinq exemplaires (papier) de l'article** respectant la présentation de DIDASKALIA, dont **trois sans indication des auteurs**.

Titre et auteur :

En tête de l'article doivent figurer les indications suivantes :

TITRE, sous-titre (le cas échéant),

TRADUCTION du titre en anglais.

Prénom NOM

organisme, adresse postale complète.

Veuillez nous proposer un titre abrégé pour rappel en haut de page (maximum 40 signes).

Suivre les règles typographiques :

- en ce qui concerne les espaces pour les signes de ponctuation, un espace avant et un espace après ; ! ?
- pour les énumérations avec deux points, ne pas mettre de capitale après le tiret de début de ligne ou paragraphe, terminer le paragraphe par une virgule ou un point virgule ;
- numérotation des paragraphes 1., 1.1. etc.

Figures et illustrations :

Dans toute la mesure du possible fournir des originaux. Dans le cas d'éléments sur disquettes, fournir, outre une sortie sur papier, un fichier indépendant du texte ; indiquer le ou les logiciels nécessaires.

Fournir les éléments qui doivent apparaître dans la légende, l'indication de la source et le © le cas échéant. Spécifier qui détient les droits (cf. demandes d'autorisations de reproduction).

Ne faire figurer sur la disquette que le(s) fichier(s) utile(s) et joindre une fiche avec leur(s) nom(s) et l'indication du contenu.

Indiquer le nombre de signes que comporte le fichier (cette indication permet de faciliter les opérations de calibrage).

Les articles refusés ne seront pas renvoyés à leurs auteurs.

DIDASKALIA

Recherches sur la communication
et l'apprentissage des sciences et des techniques

BULLETIN D'ABONNEMENT

(2 numéros par an)

à retourner à

INRP – Service des publications - Abonnements

19 allée de Fontenay - BP 17424 - 69347 LYON CEDEX 07

Tél. 04 72 76 61 66/63 - abonn@inrp.fr

Nom ou établissement

Adresse

Localité Code postal

Pays

Date Signature

Abonnement port inclus	Tarif (TTC) en Euros en vigueur jusqu'au 31 mars 2006
Abonnement France	30,00
Abonnement Corse	29,04
Abonnement DOM	29,04
Abonnement TOM	28,44
Étranger	34,00
Numéro (port en sus hors métropole)	18,00

	Nombre d'abonnements	Prix	Total
DIDASKALIA			

Tout bulletin d'abonnement doit être accompagné d'un titre de paiement libellé à l'ordre du régisseur de recettes de l'INRP.

Cette condition s'applique également aux commandes émanant de services de l'État, des collectivités territoriales et des établissements publics nationaux et locaux (texte de référence : décret du 29 décembre 1962, instruction M9.1, article 169, relatif au paiement d'abonnements à des revues et périodiques). Une facture pro forma sera émise sur demande. Seul, le paiement préalable de son montant entraînera le service de l'abonnement.

DIDASKALIA

Recherches sur la communication et l'apprentissage des sciences et des techniques Vente au numéro

- N° 2 (1993) Didactique et histoire des sciences
- N° 4 (1994) Didactique et formation professionnelle
- N° 6 (1995) Enseignants : pratiques et formation
- N° 7 (1995) Enseignement des sciences et des techniques à l'école élémentaire
- N° 8 (1996) Nouvelles technologies dans l'enseignement des sciences et des techniques
- N° 9 (1996) L'expérimental dans l'enseignement des sciences
- N° 10 (1997) Études de situations d'apprentissage
- N° 11 (1997) Expérimentation et modélisation
- N° 12 (1998) Enseigner les sciences à l'université
- N° 13 (1998) Didactique et formation professionnelle
- N° 14 (1999) Enseigner les sciences et les techniques à l'université
- N° 15 (1999) Pratiques et formation des enseignants
- N° 16 (2000) Enseigner les sciences au collège et au lycée
- N° 17 (2000) Enseigner les sciences à l'université et en formation des maîtres
- N° 18 (2001) Les sciences dans l'enseignement secondaire
- N° 20 (2002) Apports de l'épistémologie et de l'histoire des sciences
- N° 21 (2002) Enseigner les sciences dans l'enseignement secondaire
- N° 22 (2003) Concepts et conceptions
- N° 23 (2003) Environnement informatique et enseignement de la physique
- N° 24 (2004) Innovation dans la formation d'ingénieurs
- N° 25 (2004) Enseigner les sciences à différents publics
- N° 26 (2005) Rapport au savoir
- N° 27 (2005)

Prix du numéro

Tarif en vigueur jusqu'au 31 mars 2006 : **18 € TTC** (tarif France TVA 5,5 %),
franco de port en métropole, port en sus hors métropole.

Veuillez adresser vos commandes à :

INRP – Service des publications - Vente à distance
19 allée de Fontenay - BP 17424 - 69347 LYON CEDEX 07
Tél. 04 72 76 61 64 - pubvad@inrp.fr

Toute commande doit être accompagnée d'un titre de paiement libellé à l'ordre du régisseur de recettes INRP.

Cette condition s'applique également aux commandes émanant de services de l'État, des collectivités territoriales et des établissements publics nationaux et locaux (texte de référence : ministère de l'Économie, des Finances et du Budget, direction de la comptabilité publique, instruction n° 90-122-BI-MO-M9 du 7 novembre 1990, relative au paiement à la commande pour l'achat d'ouvrages par les organismes publics). Une facture pro forma sera émise pour toute demande. Seul, le paiement préalable de son montant entraînera l'exécution de la commande.

