

DIDASKALIA

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

28

Jun 2006



© INRP, 2006

ISBN 2-7342-1038-X • Réf. RD 028

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 Martínez », Caracas, Venezuela

Comité de lecture voir page suivante

Directeur de la publication

Martine MULLER, directeur par intérim

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
-

ARTICLES DE RECHERCHE

L. Viennot

*Modélisation dimensionnellement réductrice et traitement
« particulière » dans l'enseignement de la physique* 9

R. Bagheri-Crosson et P. Venturini

*Analyse du raisonnement d'étudiants utilisant
les concepts de base de l'électromagnétisme* 33

B. Pekdağ et J.-F. Le Maréchal

*Influence de la nature du texte d'un film de chimie
sur son utilisation par un apprenant* 55

COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

J.-M. Lange et P. Victor

*Didactique curriculaire et « éducation à... la santé,
l'environnement et au développement durable » :
quelles questions, quels repères ?* 85

C. De Hosson et W. Kaminski

*Un support d'enseignement du mécanisme de la vision
inspiré de l'histoire des sciences* 101

NOTES DE LECTURE 127

ACTUALITÉ DES COLLOQUES 131

RESEARCH ARTICLES

L. Viennot

*A new way of looking at size reduction
in the teaching of physics* 9

R. Bagheri-Crosson and P. Venturini

*Analysis of students' reasoning using
the basic concepts of electromagnetism* 33

B. Pekdağ and J.-F. Le Maréchal

*Influence of the nature of the narration of a chemical education
movie on its use by students* 55

REPORTS OF INNOVATIONS

J.-M. Lange and P. Victor

*Didactic "curriculair" and "education with... Health, environment
and with the sustainable development":
which questions, which marks?* 85

C. De Hosson and W. Kaminski

*A teaching tool for an optical explanation of vision inspired
by some elements of the history of optics* 101

BOOK REVIEWS 127

CONFERENCE ANNOUNCEMENTS 131



Modélisation dimensionnellement réductrice et traitement « particulière » dans l’enseignement de la physique¹

**A new way of looking at size reduction
in the teaching of physics**

**Reduccion dimensional y tratamiento
“particulario” en la enseñanza
de las ciencias físicas**

**Dimensionale Reduzierung und partikulare
Behandlung im Unterricht der Physik**

Laurence VIENNOT

Université Paris 7
2, place Jussieu
75251 Paris cedex 05
viennotl@ccr.jussieu.fr

(1) Ce texte développe une présentation effectuée lors de la quatrième journée de l'école doctorale « savoirs scientifiques » de l'université Paris 7, sur le thème « continu-discontinu : passages et points critiques » (9 mars 2005).

Résumé

Des procédures courantes de modélisation dans l'enseignement de la physique, intervenant dans un large éventail de niveaux scolaires autour du baccalauréat, reviennent à réduire dimensionnellement (c'est-à-dire du point de vue des dimensions d'espace) l'objet en étude. Cet article s'attache à analyser deux de ces procédures, qui conduisent à la reconstitution d'un ensemble continu à partir d'éléments de dimension inférieure. La première implique plusieurs éléments réduits : l'image optique vue comme l'ensemble des points images, ou encore un flux lumineux vu comme un ensemble de rayons ; la seconde n'en implique qu'un : l'objet, via un calcul de moyenne, est réduit à une « particule ». Des éléments de constat sur les pratiques actuelles, sur les difficultés observées lors d'enquêtes anciennes ou récentes, sur certains textes officiels ou de recherche, enfin sur l'évaluation d'interventions didactiques sont rassemblés ici avec la visée d'illustrer les enjeux de compréhension associés à cette question et d'alimenter une réflexion sur l'intérêt de recherches prenant en compte cette ligne d'analyse.

Mots clés : modélisation en physique, réduction dimensionnelle, difficultés conceptuelles, pratique enseignante.

Abstract

Current modelling methods in the teaching of physics to a diverse scholastic audience of 17-18 year-olds basically concerns physically reducing in size the object studied. This article looks at two of these methods whose goal is to rebuild a continuous whole from a group of smaller elements. The first concerns all the minute elements which make up a whole - for example, an optical image being considered as a group of smaller points or a light source being considered as group of several smaller light beams. The other concerns a unique element (i.e. a particle) which represents the whole based upon a calculation of averages. What has been noticed about current methods, about certain difficulties encountered in earlier and recent studies, about some items of the syllabi and of some research papers as well as teaching methods has been included in this paper. The point is to illustrate the importance of a pupil's understanding of this topic and fuel research which takes this theory into consideration.

Keywords: miniature models in physics, size reduction, difficulties in understanding, teaching methods.

Resumen

El artículo se centra en el análisis de lo continuo a través de lo "dimensionalmente reducido" y esto en una perspectiva didáctica. Se trata de lo que el uso escolar se autoriza en este ámbito – por ejemplo un sólido o una imagen

óptica considerados como “conjuntos de puntos” o también haces de luz considerados como “conjuntos de rayos” y las consecuencias eventuales de esto sobre lo que entienden los estudiantes. Se comentan también aquí, del punto de vista de la enseñanza, las nuevas interpretaciones de cálculos de la media en casi-constancias semi locales, especie de extendimiento de puntos y de valores que se les afecta y que podrían revelarse prácticas reductoras al nivel de la comprensión de los fenómenos. Dos ejemplos apoyan esta segunda parte : el teorema del centro de masa, y la presión de un globo de Mongolfier. El artículo pretende ser una incitación a desarrollar una consciencia más clara de las prácticas corrientes de enseñanza y de sus repercusiones.

Palabras clave: modelización en ciencias físicas, reducción dimensional, dificultades conceptuales, práctica docente.

Zusammenfassung

Hauptgegenstand dieses Artikels ist die Analyse des Kontinuums über den Weg des “dimensional Reduzierten”, und zwar von einem didaktischen Blickwinkel aus. Es handelt sich um das, was sich der Schulbrauch auf diesem Gebiet erlaubt – zum Beispiel um einen festen Körper oder um ein optisches Bild, die wie “Mengen von Punkten” behandelt werden, oder auch um Lichtkegel, die wie “Mengen von Strahlen” betrachtet werden, und darüber hinaus um die etwaigen Folgen von all dem auf das, was die Studenten verstehen. Es werden ebenfalls unter dem Gesichtspunkt des Unterrichts die Neuinterpretierungen der Durchschnittsrechnungen in halblokalen Quasi-Konstanten besprochen: diese Quasi-Konstanten gleichen Staffellungen von Punkten und von Werten, die diesen Punkten zugewiesen werden und sie können sich als reduzierende Praktiken in Bezug auf das Verständnis der Phänomene erweisen. Zwei Beispiele untermauern diesen zweiten Teil: der Lehrsatz vom Mittelpunkt einer Masse und der Druck in einem Heißluftballon. Der Artikel will dazu anregen, ein schärferes Bewusstsein der üblichen Unterrichtspraktiken und ihrer Zielsetzungen zu entwickeln.

Schlüsselwörter: Modellierung in Physik, dimensionale Reduzierung, begriffliche Schwierigkeiten, Unterrichtspraxis.

INTRODUCTION

Le débat immémorial sur la place qu'il convient de faire aux pôles de l'axe continu-discontinu dans la description du monde matériel s'est ravivé à l'occasion des grandes crises qu'ont constituées la théorie atomique au XIX^e siècle et la mécanique quantique au début du XX^e siècle. Ces spectaculaires bouleversements, aux précurseurs beaucoup plus anciens dans le

premier cas que dans le second, ont quelque peu monopolisé le débat entre ces deux visions du monde, où aspects métaphysiques ou religieux prirent à l'occasion une large place. Les lignes qui suivent abordent, à propos d'objets cette fois tout à fait ordinaires de la théorie physique, une question que l'on peut considérer comme connexe : celle des différentes formes de réduction dimensionnelle opérées dans l'analyse du réel. Les questions que soulèvent la modélisation d'une source étendue de lumière par un ensemble de points peuvent apparaître bien ternes au regard des controverses historiques évoquées ci-dessus. Sur le plan didactique pourtant, une telle opération n'est pas neutre et mérite qu'on s'y arrête, malgré la grande banalité de cette procédure. Différentes modalités de réduction dimensionnelle viendront alimenter les réflexions qui suivent. La première consiste à utiliser des éléments de dimension N_r comme représentants d'un ensemble de dimension N supérieure à N_r (par exemple, des points pour des lignes ou des surfaces, ou encore des lignes pour des surfaces ou des volumes). Une autre modalité de réduction de l'analyse consiste à simplifier la description d'un ensemble inhomogène par le truchement de moyennes, remplaçant ainsi une distribution éventuellement continue de valeurs par une seule. Il s'agit là d'une démarche essentielle en physique, bien évidemment. Toute la physique statistique mais, plus fondamentalement, tout abord pragmatique d'un système ordinaire, utilise ce mode de description. On ne commente ici que certains aspects de cette démarche qui, d'une part, peuvent se révéler problématiques, et d'autre part, confinent au thème de la réduction dimensionnelle. En fait il ne s'agit plus, comme dans l'exemple de la conjugaison optique, de représenter un ensemble par quelques-uns de ses éléments isolés par la pensée, mais plutôt de résumer ses propriétés par une valeur unique de grandeur physique. Celle-ci, on le verra, peut être attribuée à un seul de ses points (le centre d'inertie dans l'exemple qui suit) ou au contraire, plus ou moins subrepticement, étendue à l'ensemble dont elle efface l'inhomogénéité (comme le cas du gaz parfait dont on oublie qu'il est dans un champ de pesanteur). Dans un cas comme dans l'autre, on n'est pas loin de penser un système étendu comme une « particule », terme à la définition souvent imprécise mais au demeurant très familier en physique.

Le but de cet article est de localiser des enjeux conceptuels éventuellement sous-estimés et les difficultés d'enseignement susceptibles d'être associées à ces formes plus ou moins caractérisées de réduction dimensionnelle. On se limite ici aux dimensions d'espace telles que les distinguent les physiciens : un volume (respectivement une surface, une ligne) s'inscrit dans un espace à trois (respectivement deux, une) dimension(s). Cette réflexion se fonde sur une analyse a priori du contenu et sur une prise en compte, en contrepoint, des pratiques d'enseignement courantes.

Pour ce qui est du premier point, l'angle d'analyse exposé plus haut (dont la spécificité restreint considérablement le champ de l'étude par rapport à l'évocation globale des problèmes liés à la modélisation) et les rapproche-

ments qu'il suggère n'ont guère été auparavant, à la connaissance de l'auteur, adopté en tant que tels dans un contexte de recherche de didactique de la physique. La géométrie projective, en mathématiques, a fait l'objet de recherches (Colmez & Parzysz, 1993 ; Parzysz, 1991). S'y rattachent bien entendu les questions de représentation iconique en deux dimensions pour des objets à trois dimensions. Les cas qui sont analysés plus loin ne relèvent pas de ce type de transformation projective. Ils se rattachent à l'idée de *représentation*, au sens où, à partir de ce que l'on sait des éléments de dimension inférieure (par exemple des points sources et leurs images), on reconstitue ce qu'il en est des éléments de dimensions supérieures (par exemple une source étendue et son image) ; ceci sans qu'il y ait de correspondance projective en cause, mais plutôt l'idée d'un tout à reconstituer à partir de quelques éléments *constitutifs* de l'ensemble. Ce thème reprend sous un autre label l'idée d'« échantillonnage » proposée par Fawaz et Viennot (1986), terme non retenu dans cet article à cause de la connotation statistique qui risque d'en perturber la compréhension. Le parti pris adopté ici est qu'une étude précisant et illustrant cet angle d'analyse peut orienter et éclairer de nouvelles recherches portant sur les difficultés des apprenants et sur les interventions didactiques envisageables à leur propos.

Quant aux pratiques d'enseignement qui sont ici qualifiées de courantes, divers indicateurs (éléments d'analyse des textes officiels et / ou des manuels scolaires, ou encore état des lieux retraduit par un article de recherche) donneront des indices sur le niveau actuel de prise en charge des difficultés discutées ici.

Lorsque des recherches attestent, sur un thème particulier, l'importance des difficultés rassemblées dans cette analyse, il en sera fait brièvement état. Lorsque des résultats d'intervention didactique seront mentionnés, ce sera essentiellement à titre d'éclairage des difficultés appréhendées par cette étude.

La fonction voulue pour ce texte étant de s'appuyer sur un regroupement d'éléments pour spécifier une catégorie de difficultés conceptuelles, chacun des points ainsi évoqués ne pourra, pour des raisons évidentes de brièveté, être développé à loisir : seuls les traits qui semblent essentiels pour le propos retenu y seront déclinés.

1. LES « REPRÉSENTANTS » ET L'ENSEMBLE : EXEMPLE DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

L'optique géométrique élémentaire est un terrain de choix en matière de réduction dimensionnelle : on y voit des points (dimension « zéro » dans le langage du physicien) représenter la surface émettrice tout entière (dimension

deux), et des lignes (dimension « un ») indiquer la structure en volume (dimension « trois », sans tenir compte du temps) du flux d'énergie. Le terme « représenter » est à prendre ici au sens qu'il a dans l'introduction, c'est-à-dire qu'à partir de ce que l'on sait d'éléments de dimension inférieure, compris comme constitutifs d'un ensemble (par exemple des points sources et leurs images), on reconstitue ce qu'il en est de l'ensemble en question, de dimension supérieure (par exemple une source étendue et son image).

L'objet comme ensemble de points

En matière de correspondance objet-image, il est rituel de s'intéresser à un objet dont le « pied sur l'axe » et l'extrémité le plus éloignée de l'axe vont définir, via leur conjugués optiques, les extrémités de l'image, comme l'indique le non moins rituel schéma de la figure 1.

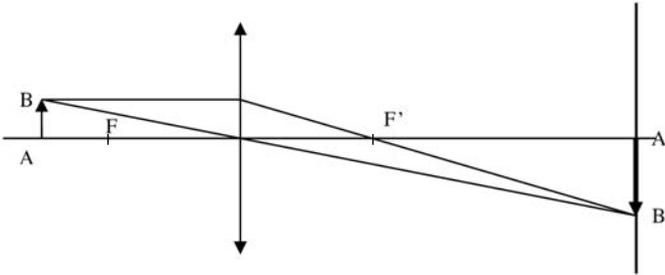


Figure 1 • Un schéma classique à propos de la conjugaison optique objet-image via une lentille convexe mince

Derrière cette habitude réside la propriété d'« aplanétisme » (voir sur ce point et sur la « condition d'Abbe », Bertin *et al.*, 1986, p. 123 et 130), que garantissent, au moins de manière approchée, les conditions particulières dites « de Gauss » (c'est-à-dire, globalement, « faibles » dimensions linéaires et angulaires de l'objet). Cette propriété permet d'affirmer que tous les points de l'objet situés dans un plan objet donné, perpendiculaire à l'axe, ont une image située dans le même plan image, perpendiculaire à l'axe.

Dans le langage du schéma de la figure 1, on dira ainsi que tous les points situés sur le segment [AB] ont une image sur le segment [A'B']. Dans le cas d'une lentille mince, les points conjugués sont alignés avec le centre optique, et donc il suffit de tracer une droite issue d'un point objet pour trouver son image, dès lors que l'on sait dans quel plan perpendiculaire à l'axe se trouve celui-ci. Or ce plan est déterminé par les points A' et B'.

Physiquement parlant, c'est la ressemblance de l'objet et de l'image qui est en cause, en d'autres termes, la valeur constante du grandissement

linéaire pour tous les couples concernés. Il n'est que de voir sa propre image dans un miroir déformant pour comprendre l'intérêt de cette propriété d'aplanétisme.

Or la relation entre la propriété d'aplanétisme et la ressemblance en question n'est, le plus souvent, pas enseignée. La ressemblance semble parfois quasi-obligée, à lire par exemple Buty *et al.* (2004, p. 592), qui la présente comme une conséquence non problématique du stigmatisme : *the image looks like the object because to each point of the object corresponds a unique image point* (« l'image ressemble à l'objet *puisque* à chaque point de l'objet correspond un seul point image »). Le fait qu'un article de recherche en didactique ne questionne pas un aspect de savoir qu'il présente comme à enseigner, sur la base du programme actuel de quatrième en France, est, c'est là une hypothèse peu risquée, un reflet de la pratique scolaire courante. D'ailleurs, le point objet est laconiquement défini dans le commentaire du programme en cours de 1^{re} S (grade 11) en France (BOEN, 2000, p. 195) : « on désigne par « point-objet » un point de l'objet étudié ». Il ne fait pas l'objet d'explicitation dans le document d'accompagnement (BOEN, 2002, p. 97 et p. 100), sinon pour préciser qu'un tel point est « susceptible d'envoyer de la lumière dans toutes les directions » et que voir « complètement » l'objet c'est voir « tous » les points visibles ». De même, aucun des programmes du secondaire de voie générale en cours actuellement en France (BOEN, 2000, 2001, 2005) ne mentionne l'explicitation de l'aplanétisme sous une forme ou une autre, ne serait-ce que via le fait que l'expression du grandissement enseignée ne dépend que des positions (des « pieds sur l'axe », comme on dit communément) de l'objet et de l'image. Un examen direct de divers textes de niveau universitaire sur l'imagerie optique vient renforcer ce constat, dans la mesure où livres et pratiques se reflètent mutuellement. Par exemple, une allusion à l'aplanétisme n'intervient qu'indirectement (le mot n'est pas utilisé) et discrètement, quinze lignes avant la fin du chapitre « stigmatisme et approximation de Gauss » (May, 1993, p. 28), dans la spécification des conditions de Gauss : « l'objet est plan, perpendiculaire à l'axe du système, et de dimension suffisamment réduite pour que son image soit également plane (ou rectiligne) ». Le terme « aplanétisme » ou toute autre expression équivalente ne figure pas dans l'index des ouvrages fort connus de Hecht (1987, 1999), mais aussi de Crawford (1968), de Giancoli (1993), pas plus que la condition pour cette propriété, dite « condition d'Abbe ». Le plus souvent, c'est en négatif seulement que l'aplanétisme est implicitement évoqué, au moment d'analyser les aberrations optiques. La procédure d'imagerie aux points extrêmes est, elle, très généralement pratiquée, on n'ose pas dire « enseignée » tant, d'emblée, elle semble aller de soi.

Pourtant on peut douter que cela soit toujours le cas, lorsque l'on considère par exemple le détournement d'automatisme dont témoigne la figure 2.

que l'on frise l'absurde en manipulant cet objet commodément réduit : « le point ». Imaginons par exemple une question d'élève : « faut-il que les points images soit plus gros que les points objets pour couvrir toute la surface de l'image, dans le cas d'un grandissement plus grand que 1 ? ». May (1993, p. 25). Elle prend la précaution de définir une source ponctuelle (« un objet lumineux vu par l'œil sous un angle inférieur à une minute d'arc »), en référence implicite à la structure de la rétine. On aura bien sûr noté que cet auteur spécifie bien de quoi elle parle, à savoir d'un objet physique (source ponctuelle), dont on doit comprendre qu'il est modélisé, *du point de vue géométrique*, par un objet mathématique : un point. Lue dans une référence pure à la définition mathématique d'un point, la question mise ici dans la bouche d'un élève ne serait tout simplement pas compréhensible. Pour autant, on ne peut prétendre qu'elle soit totalement improbable et sans aucune pertinence, compte tenu de l'enseignement habituellement dispensé. Elle figure ici avant tout pour attirer l'attention sur le caractère éminemment non trivial de cette définition banale : l'objet est l'ensemble des points objets, l'image est l'ensemble des points images (BOEN, 2002 ; Buty *et al.*, 2004, p. 590).

Ce minuscule exemple (le « point » en optique) est là pour introduire l'idée que l'on peut avoir intérêt à réfléchir et à faire réfléchir sur le plus ordinaire des cas de réduction dimensionnelle, fut-il ritualisé au possible.

Le flux de lumière comme ensemble de rayons

Considérons un autre exemple, cette fois en dimension 1 : le rayon. Là encore, il s'agit d'un objet conceptuel chargé de nous renseigner sur plus gros que lui. Il peut se trouver en situation de définir des limites. Ainsi la figure 3 rappelle de classiques exercices d'optique élémentaire, où un objet opaque s'interpose entre une source étendue et un écran : il s'agit de trouver les zones de l'écran pleinement éclairées, dans l'ombre ou dans la pénombre, et aussi les zones de la source visibles par chacun des trous de cet écran (document d'accompagnement 4^e, 1992 ; Hirn-Viennot, 2000).

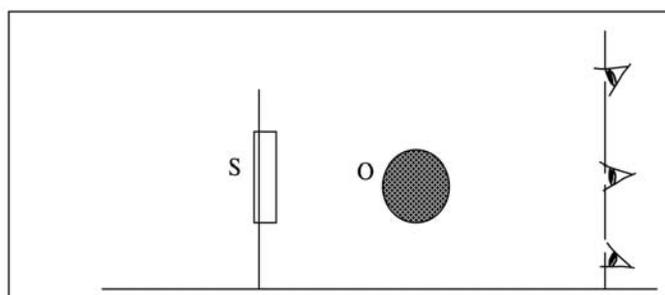
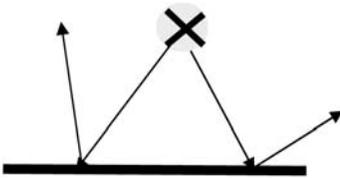


Figure 3 • Support pour un exercice classique de délimitation de zones. S : source étendue, O : objet opaque

Au sens propre, un rayon joue le rôle de représentant, toujours au sens défini plus haut, pour un flux, comme le point l'est pour l'objet source, c'est-à-dire qu'il renseigne, seul où en combinaison avec un autre rayon, sur ce qu'il se passe dans un espace de dimension supérieure à la sienne. Les figures 4 et 1 illustrent cette fonction, respectivement pour un dessin visant l'explication de la diffusion et pour le schéma rituel de construction d'image « à l'aide de deux rayons ». Il s'agit, dans ces deux cas, de voir les lignes dessinées comme guides indiquant ce que font tous les rayons issus d'un même point même si, dans le cas de la diffusion, il faut comprendre que ces rayons repartent dans toutes les directions alors que, dans la correspondance stigmatique, ils vont tous au même endroit. Ce rôle générique ne va pas de soi, surtout lorsqu'un autre rôle possible s'interpose, témoin l'interrogation d'un enfant qui cherchait à lire le schéma de la figure 4 en terme de limite de zone : « M'sieur, c'est faux » (Hirn & Viennot, 2000, p. 376).



« M'sieur, c'est faux parce que l'écran est éclairé en entier et pas sur une toute petite partie. »

(le professeur enchaîne sans signaler que l'on ne parle plus de limites de zones, ce qui était le cas jusque-là).

Figure 4 • L'étonnement d'un enfant de quatrième pour qui les rayons n'avaient eu jusque-là pour fonction que de limiter des zones de visibilité ou d'éclairement, épisode non acté par son professeur

Cet exemple illustre, à travers le fait que le professeur ne réagit pas vraiment à la question de l'enfant, que la mesure de la difficulté n'a pas été prise, au moins chez cet enseignant.

Pour ce qui est du rôle de représentant de deux rayons, il est courant de voir des étudiants de première année d'université qui savent tracer la marche d'un rayon pour une lentille mince, puis d'un deuxième rayon issu du même point, et qui, interrogés sur un troisième rayon venant du même point, mettent en œuvre leur algorithme miracle une troisième fois, au lieu d'utiliser le fait que l'intersection des deux premiers constitue un point de passage désormais obligé. Nous reviendrons ci-dessous sur des moyens de prendre en compte plus explicitement, dans l'enseignement, le rôle représentatif des « rayons », et l'on pourrait dire aussi des « points », de construction. A cette occasion seront évoquées des difficultés extrêmement classiques liées à cette question. Mais auparavant, deux remarques peuvent contribuer à souligner le caractère problématique de la modélisation d'un flux de lumière par des rayons.

Dans une situation du type de la figure 4, lors d'une enquête évoquée plus loin (Viennot & Kaminski, 2005), un élève de terminale S (grade 12) écrivait : « la zone centrale de l'écran sera éclairée plus intensément que les bords de celui-ci car sur une longueur donnée le *nombre* de rayons incidents sera plus faible sur les bords, du fait de l'angle entre l'écran et les rayons incidents. » Or la rencontre d'un rayon et d'un écran, cela ne fait jamais qu'un point : fait-on plus d'énergie avec « plus de points » ? C'est une question dérangement. Et pourtant, avouons-le, en tant qu'enseignants, nous aimons bien entendre ce raisonnement déjà très évolué et somme toute assez rare.

Autre exemple de considération réduite de la dimensionnalité des phénomènes, la réfraction comporte aussi quelque difficulté. Si nous voulons prédire la suite des événements pour un rayon qui traverse une surface qui sépare deux milieux d'indices respectifs n_i et n_r , nous utilisons la loi de Snell-Descartes. Il faut donc que soit déterminé l'angle d'incidence i_i pour trouver l'angle de réfraction i_r , lesquels angles se définissent par rapport à la normale à la surface de séparation. Une modélisation satisfaisante du phénomène ne peut donc se réduire à une description unidimensionnelle, elle doit également faire intervenir une dimension transversale, en écho à l'importance déterminante de l'*orientation* de la surface séparant les deux milieux de propagation. Certes, lorsqu'on connaît les lois de Snell-Descartes et la normale à la surface, on peut décrire le trajet d'un seul rayon de manière indépendante des rayons voisins, comme le suggère par exemple Maurines (2001, p. 53). Pour elle, les rayons de l'optique géométrique « peuvent être séparés sans être modifiés », ou encore sont « distinguables ». Mais s'il faut *interpréter* le phénomène de réfraction, une telle modélisation se révèle bien pauvre, car un rayon isolé ne croise une surface qu'en un seul point, ce qui nous renvoie à la remarque faite plus haut sur l'existence d'une dimension transversale intrinsèque au phénomène. Ainsi, interprété comme représentatif d'une onde associée (son vecteur de Poynting, dont la valeur est la densité de flux de puissance), le rayon lumineux peut voir sa réfraction mise en relation analogique avec des modèles classiques au moins bidimensionnels. En effet, dans un de ces modèles classiques, un front d'onde qui croise de biais l'interface entre deux milieux d'indice différent peut lui-même se voir modélisé par un attelage à deux roues descendant en biais sur une planche inclinée, avec deux zones de rugosité différente, correspondant chacune à une vitesse de roulement différente (voir le modèle illustré en figure 5, Taylor, 1994) : la déviation observée résulte dans les deux cas d'une différence de vitesse de propagation (dite « de phase » dans le cas de l'onde) entre des entités disposées *transversalement* par rapport à la direction de propagation. Or dans le cas de l'onde, ces entités sont justement les rayons. S'insurger contre le caractère bidimensionnel de tels modèles, comme le font Gilbert *et al.* (1998), reviendrait à se priver de leur caractère interprétatif.

Bien entendu, on trouve un écho de cette discussion dans la description quantique de la propagation lumineuse, et ce n'est pas gratuitement

qu'un auteur comme de Broglie (1941, p. 55) précise dans un ouvrage destiné à des non spécialistes, à propos des aspects de la propagation classiquement qualifiés de « corpusculaire » et « ondulatoire » : « ce qui arrive sur la surface du cristal, ce n'est pas un grain bien localisé courant le long d'une droite, c'est tout un champ de possibilités de localisation, représenté par l'onde de la mécanique ondulatoire, champ qui explore, qui tâte pour ainsi dire toute la surface et toutes les couches superficielles du cristal ».

De nouveau, on constate qu'à réfléchir sur un sujet apparemment anodin, de vraies questions de physique se profilent à l'horizon. Afin que ces questions n'apparaissent pas comme de stériles jeux de l'esprit, citons ici une expérience qui souligne le fait qu'une explicitation ciblée, dans la ligne de la discussion précédente, peut faciliter la compréhension de phénomènes physiques que l'on souhaite classiquement enseigner.

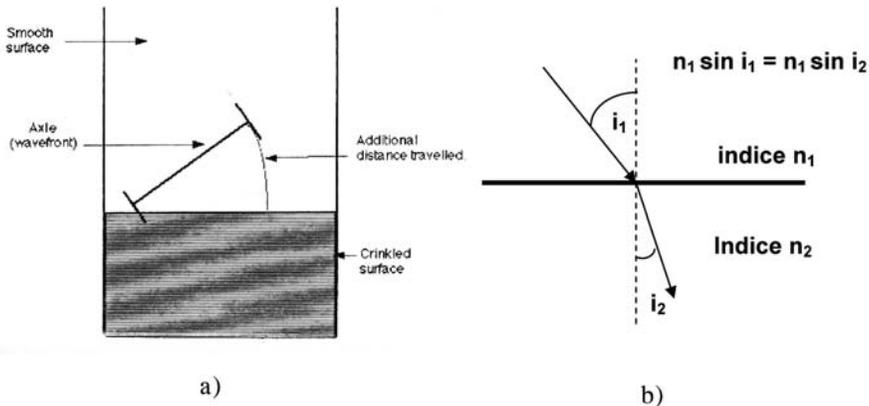


Figure 5 • Un modèle analogique proposé pour la réfraction a) (Taylor, 1994) et un modèle plus classique b)

Une explicitation graphique du rôle représentatif des rayons : éléments de validation

On sait depuis longtemps (Guesne, 1981) que le principe même du stigmatisme optique, rappelé plus haut, est souvent très mal compris, et laisse la place, à en croire les erreurs et commentaires d'élèves et d'étudiants, à des modèles implicites de transport global de l'image (Fawaz & Viennot, 1986 ; Feher & Rice, 1987 ; Galili & Hazan, 2000 ; Goldberg & Mc Dermott, 1987). Ceux-ci ne sont donc pas compatibles avec l'idée que chaque point de la source envoie dans tout l'espace de la lumière qui s'y propage rectilignement et de manière isotrope. Des trous dans les images dûs,

selon les personnes interrogées, à la pose d'un cache central sur une lentille, ou des « images » décrites comme allant toutes seules sur le mur voisin en l'absence de lentilles, autant de réponses communes qui témoignent de cet état de fait. On voit bien qu'à se centrer uniquement sur les rayons de construction, il y a risque de renforcer cette vision de transport horizontal de l'image, comme l'ont signalé plusieurs auteurs (Beaty, 1987 ; Fawaz & Viennot, 1986 ; Galili-Hazan, 2000 ; Kaminski, 1991, 1993 ; Viennot, 1996, 2003). D'après leurs analyses, un schéma d'explicitation « de base » a été défini par Viennot et Kaminski (2005) comme comportant les éléments suivants :

- on représente d'autres rayons que ceux dits « de construction », ainsi que des faisceaux de lumière ;
- la propagation isotrope et rectiligne de la lumière tout autour de la lentille est suggérée.

On reconnaît dans la première caractéristique le principe même de l'imagerie optique au sens de Kepler, et l'intention de souligner que les rayons de construction ne sont pas plus constitutifs de l'image que les autres. Quant à la seconde, d'allure anodine, elle souligne le fait que même la lentille entière ne traite qu'une partie du flux, au même titre que l'une quelconque de ses différentes zones.

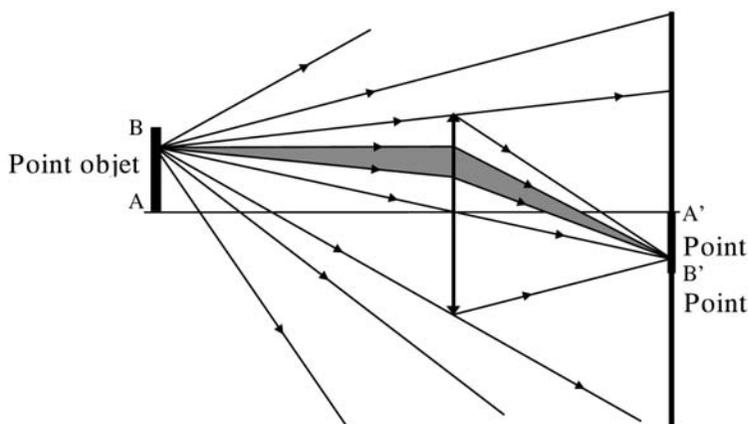


Figure 6 • Un schéma défini ici comme étant schéma « de base » (le point est un point courant)

Dans l'enquête mise en œuvre par ces auteurs, des groupes ayant préalablement reçu un enseignement classique d'optique géométrique élémentaire en France (60 professeurs stagiaires en seconde année d'IUFM d'une part, 20 étudiants de licence d'autre part) ont été soumis à deux questions classiques, telle la prévision de l'effet sur l'image d'un cache posé au

centre d'une lentille. Systématiquement, chaque groupe d'un type donné (enseignants stagiaires ou étudiants de licence) était séparé en deux sous-groupes de manière aléatoire, un sous-groupe recevant la question introduite par le schéma classique et l'autre moitié recevant le schéma défini plus haut comme étant schéma « de base ». Il s'agissait d'évaluer si le simple fait de fournir un schéma explicitant le principe même de l'imagerie optique pouvait aider les personnes interrogées à raisonner sur les situations proposées.

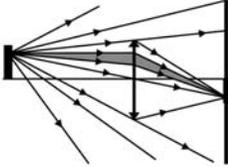
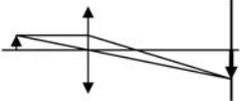
<p>« On place un cache sur le centre de la lentille : que voit-on maintenant sur l'écran ? »</p> <p><i>catégories exclusives</i> ↓</p>	<p>Situation introduite par le schéma de base :</p> 			<p>Situation introduite par le schéma classique :</p> 		
	Professeurs stagiaires : N=29	Etudiants de licence : N=10	Ensemble : N=39	Professeurs stagiaires : N=31	Etudiants de licence : N=10	Ensemble : N=41
La même chose ou A'B' (+)* moins lumineux, (+)* approximation de Gauss	26	8	34	17	2	19
Un trou noir au centre de l'écran ou de l'image, ou image du cache, ou tache noire + halo	3	2	5	14	8	22

Tableau 1 • Taux de réponse pour la question du cache ; * correspond à « éventuellement »

On trouvera dans la contribution de Viennot et Kaminski (2005) plus de détails sur l'enquête, ses résultats, les circonstances qui permettent d'espérer un contrôle de l'effet d'un outil didactique aussi ténu que celui-ci. Disons simplement ici qu'à un niveau supérieur ou égal à la licence, ce seul facteur apparaît, associé à une différence très significative des résultats pour deux questions traditionnellement révélatrices des idées communes évoquées plus haut. En l'occurrence, pour la question du cache (tableau 1), le schéma « de base » est associée à un nombre plus restreint d'élèves évoquant une « image voyageuse » percée d'un trou au passage du cache ($\chi^2 = 17,6$; $p = 0,001$).

Il est donc raisonnable de penser que la relation du particulier à l'ensemble, ici le rôle représentatif des rayons, le fait qu'une partie de la lentille soit suffisante pour former toute l'image, ceci pour un ensemble de couples de points conjugués représentés par l'un d'entre eux, constituent autant de

nœuds pour la compréhension du domaine et méritent explicitation. Certes le schéma « de base » dont l'impact est évalué dans cette enquête cumule plusieurs caractéristiques supposées favorables à la compréhension visée, dont il est difficile de mesurer les effets respectifs, même si tel ou tel commentaire recueilli mentionne l'une ou l'autre spécifiquement. Mais, d'une part, ces caractéristiques restent dans le même registre, assurant la cohérence de cette proposition didactique, d'autre part il est déjà rare de pouvoir mettre en évidence l'impact d'une intervention aussi limitée, pour des raisons discutées dans l'étude en question. Dans la ligne des préoccupations propres à cet article, on peut retenir sans grand risque que ces résultats témoignent de la pertinence de l'analyse proposée plus haut, laquelle pointe l'existence probable de difficultés là où les rituels d'enseignement pourraient laisser penser qu'il n'y en a pas.

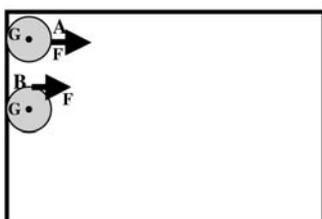
2. ENSEMBLE INHOMOGÈNE, MOYENNE, PARTICULE : LES EFFETS D'UNE PROCÉDURE RÉDUCTRICE

Avec la question des moyennes, on aborde un domaine beaucoup moins ouvertement lié à une réduction dimensionnelle. La prise en compte de valeurs moyennes de grandeurs est d'importance majeure en physique, elle est pratiquement une condition d'existence de cette discipline. Impossible en effet de connaître le détail des caractéristiques d'innombrables sous-parties des systèmes étudiés. Selon ce que l'on veut savoir, on décide de l'échelle du découpage à adopter pour l'analyse : macroscopique, mésoscopique ou nanoscopique. Cela fait, il reste toujours des parties du système dont on n'étudie pas la structure interne et à qui on attribue une valeur unique (scalaire, vectorielle, tensorielle) pour chaque grandeur physique en cause : position, vitesse, accélération, température, pression, etc. Il s'agit finalement de l'extension d'une démarche qui sous-tend déjà les exemples précédents : les points chargés de « constituer » l'objet ou l'image peuvent être vus comme la position moyenne d'un grain (le plus souvent implicitement mais parfois beaucoup plus clairement comme pour May, 1993), et les rayons renseignent sur le trajet de l'énergie en leur voisinage. Ce dernier point devient clair dès lors que les rayons considérés s'inscrivent dans une description ondulatoire comme support du vecteur de Poynting, ce qui est tout à fait classiquement enseigné au niveau universitaire. Paolo Guidoni suggérait récemment (Guidoni, 2005) que le discontinu pouvait apparaître comme le résultat d'une centration de l'attention, après une première étape de considération du continu. Les exemples suivants amènent à discuter des glissements qui peuvent se produire, à ce propos, vers l'idée d'un objet qui, d'une manière ou d'une autre, se trouve réduit abusivement.

Le théorème du centre d'inertie

La mécanique classique pose d'emblée la question : si les lois de Newton s'énoncent usuellement pour une « particule » ou un « point matériel » de masse m , comment les appliquer à des objets ordinaires ? La linéarité de la relation entre force subie et accélération ($\vec{f} = m\vec{a}$) associée à la troisième loi, dite des actions réciproques, permet de démontrer le théorème du centre d'inertie (« TCI », comme le nomment familièrement les élèves de terminale S). La formulation symbolique de ce théorème ressemble à la seconde loi, au point qu'on en oublie l'intervention de la troisième loi : $\vec{F}_{\text{ext}} = M\vec{a}$. Il n'y a là aucune approximation, seulement une procédure de moyenne vectorielle pondérée par les masses des éléments de l'objet, procédure qui informe *exactement* sur l'accélération du centre de masse, quand on connaît la masse totale M . La troisième loi, quant à elle, permet de ne retenir que les forces d'origine extérieure \vec{F}_{ext} dans la somme de toutes les forces exercées sur les « particules » concernées. La validité de l'information résultante est, répétons-le, strictement celle des lois de Newton. En revanche, il est bien évident qu'à mettre en œuvre cette procédure, on perd une partie de l'information, celle qui concerne les mouvements des parties de l'objet par rapport au centre d'inertie. On résume souvent cette idée en disant que l'on peut analyser ainsi la translation de l'objet et non sa rotation.

Quel rapport avec ce qui précède ? Il en existe probablement un au plan de la compréhension commune de ce théorème (Rigaut & Viennot, 2002). Il semble que l'information qui ne concerne qu'un point dérive souvent vers la réduction de l'objet à un point. Combien de fois ne lit-on pas, notamment dans les sujets de baccalauréat : « on assimilera le corps X à son centre d'inertie » ? Pris au pied de la lettre, ces énoncés se situent dans le registre de la réduction dimensionnelle la plus radicale : du système, il ne reste qu'*un* point. Certes, dans le cas d'un champ de force inhomogène, cela met l'étudiant à l'aise pour calculer la somme des forces extérieures. Mais il est probable qu'une telle formulation, globalement réductrice, conduise à réduire la signification du TCI. Celle-ci n'est pas anodine : on peut bien analyser le point d'application particulier de chaque force d'origine extérieure sur l'objet, le TCI conduit, lui, à la conclusion stupéfiante que ce point d'application n'a aucune incidence sur le mouvement du centre de masse, seul compte le vecteur force. Dit familièrement, cela veut dire qu'on peut bien tirer sur un objet en accrochant la ficelle où on veut, ce qui compte pour le mouvement d'ensemble n'est que la valeur et l'orientation des actions exercées. La situation représentée en figure 7 (Menigaux, 1991 ; Viennot, 1996) et les taux d'erreurs associés mettent en évidence l'aspect contre-intuitif du TCI, ce qui est une source d'intérêt.



Deux palets sont sur une table à coussin d'air horizontale. La même force est exercée en permanence sur chacun d'eux (respectivement en A et B). Comment arrivent-ils à l'autre extrémité ?

Echantillon	Ils arrivent en même temps	A arrive avant B
1 ^{re} S (N = 17)	6 %	83 %
Terminale C (N = 18)	22 %	61 %
Deug (N = 53)	24 %	67 %

Figure 7 • Résumé d'une question à propos du TCI et taux de réponse obtenu lors du sondage initial

Si on estime qu'il est fructueux d'exprimer complètement la signification d'un tel théorème, il importe de ne pas suggérer une réduction dimensionnelle abusive, et de situer bien à sa place une procédure de moyenne, fût-elle vectorielle : renseigner sur un point n'est pas ignorer l'existence des autres, ni leur éventuelle « rotation ».

Ces réflexions conduisent à préciser ce que l'on peut résumer par l'expression « particule de masse m », qui renvoie au « point matériel » de la mécanique classique. Cette expression, beaucoup plus volontiers utilisée que définie, peut s'appliquer à deux conditions. La première est que l'on ne s'intéresse pas à la rotation du système considéré. La seconde suppose que la somme des forces d'origine extérieure sur le corps en question peut s'évaluer comme si tous les éléments de celui-ci étaient situés au même point, à savoir le centre d'inertie. De ce point de vue, une étoile peut être considérée comme une « particule » en magnéto-hydrodynamique galactique.

L'exemple suivant met en jeu, cette fois, une moyenne scalaire. Il amène à discuter une autre variante d'analyse d'objet abusivement réduite.

La montgolfière : l'étendue homogénéisée

On trouve communément, en exercice d'application de statique des fluides, notamment en première année universitaire, un texte comportant les éléments suivants, à propos d'une montgolfière : sa masse totale (masse de l'enveloppe, de la nacelle et de son contenu) M_T , la valeur de la température extérieure, l'hypothèse que la pression interne est égale à la pression extérieure, et une question sur la valeur de la température de l'air à l'intérieur nécessaire pour assurer le décollage. Clairement, le principe d'Archimède est la cible de l'exercice. La fameuse « poussée vers le haut » a la même valeur que le poids d'air extérieur de même volume que la montgolfière (à peu près celui délimité par l'enveloppe). Elle doit équilibrer le poids des éléments solides de masse M_T et celui de l'air intérieur. Il reste à calculer la différence

de poids des deux volumes de gaz en cause, compte tenu de leur température respective, et la solution en découle facilement. Dans le calcul des masses de gaz en cause, il est bien commode d'admettre qu'il s'agit de gaz parfaits en équilibre (ce qui permet d'utiliser la relation $pV = nRT$, ou encore $\rho = p M_{\text{mol}} / (RT)$ en notations habituelles) et de considérer les pressions intérieure et extérieure comme égales, du fait que l'enveloppe est ouverte à sa base. On peut trouver également ce type de modélisation dans un cadre de vulgarisation (Maury, 1987, p. 67). Mais à prendre ces hypothèses toutes au sérieux, sans autre précaution, on arrive à l'absurde : si les pressions intérieure et extérieure étaient identiques en tout point de l'enveloppe, celle-ci ne subirait au total aucune force de la part des gaz puisqu'alors chaque portion d'enveloppe subirait, de part et d'autre, deux forces exactement opposées. Faire disparaître toute inhomogénéité de ce problème, c'est nier la poussée d'Archimède, laquelle ne fait que traduire, via un théorème intégral, l'effet global d'un gradient de pression, celui-là même qu'indique la formule de base de la statique des fluides : $\Delta p = -\rho g \Delta h$. D'ailleurs, il suffirait que la distribution de pression dans les gaz respecte une symétrie sphérique pour qu'une orientation particulière de la force résultante (en l'occurrence vers le haut) soit impossible. La procédure intégrale de calcul de la poussée s'accommode bien d'une valeur moyenne de pression pour évaluer le « poids du volume déplacé » lequel, via l'expression de la masse volumique ρ , est affecté par la différence notable de température entre l'intérieur et l'extérieur. Mais si cette procédure glisse vers une vision d'homogénéité, la moyenne envahissant en quelque sorte tout le volume disponible, elle enterre l'origine même du phénomène. Utile pour le calcul, cette procédure ne doit pas contaminer la vision du phénomène, lequel est essentiellement lié à des différences locales de pression sur l'enveloppe. La figure 8 évoque les gradients de pression intérieur et extérieur, gradients dont la différence traduit celle qui existe entre les masses volumiques moyennes : de bas en haut, la pression diminue moins vite à l'intérieur qu'à l'extérieur car l'air plus chaud est moins dense. Là réside l'explication du fait que la pression est, sauf à l'embouchure, plus grande à l'intérieur qu'à l'extérieur (notamment en haut de l'enveloppe), assurant ainsi la sustentation de l'ensemble. Pour faciliter la compréhension de cette explication, la modélisation proposée en figure 8 attribue à la montgolfière une forme cubique (évidemment peu usuelle) afin d'éviter toute complication dans la sommation des actions locales : la valeur nulle de la résultante des forces de pression sur la paroi horizontale basse, la compensation des actions sur les parois verticales et l'effet nécessairement déséquilibré des forces de pression s'exerçant sur la paroi horizontale haute ne sont en effet pas apparus comme des obstacles lors des expérimentations réalisées à l'aide de cette figure, décrites ci-après.

Il est *très* courant, dans l'enseignement, d'ignorer tout ce débat, de proposer des énoncés sur les montgolfières comportant l'hypothèse discutée plus haut et de conduire ainsi les étudiants à l'utiliser sans autre

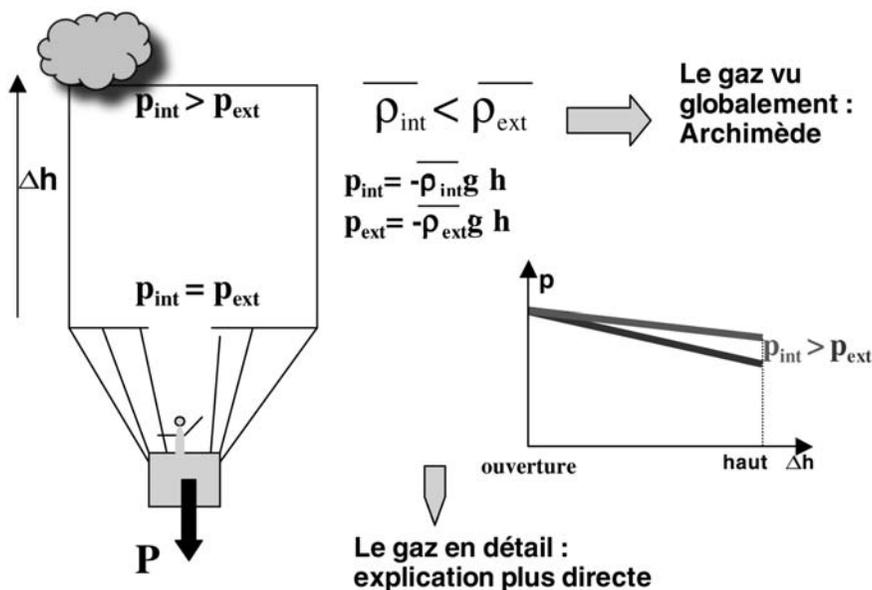


Figure 8 • Éléments pour comprendre la sustentation d'une montgolfière

questionnement pour aboutir, via le théorème d'Archimède, à la valeur cherchée de la température. Lors d'une étude récente (Viennot, 2005, 2006), sur 61 enseignants stagiaires en deuxième année d'IUFM, à qui il a été demandé par questionnaire écrit s'il modifieraient ou précisaient la rédaction d'un tel exercice, *aucun* n'a détecté l'absurdité potentielle soulignée ici. 15 autres enseignants en stage de formation continue sur le thème des relations entre les mathématiques et la physique, n'ont pas davantage détecté l'hypothèse problématique. Par la suite, un travail de groupe proposant l'exposé oral de l'analyse résumée en figure 8, ils ont répondu positivement à une question écrite leur demandant s'ils pensaient que cette discussion valait la peine d'être menée (avec tous un indice de conviction de 3 ou 4 sur une échelle de 1 à 4). Cette unanimité disparaît pour la deuxième question concernant la valeur potentielle d'une telle discussion pour des étudiants de terminale S ou de première année universitaire. Une consultation d'étudiants en début de première année universitaire, dans le cadre de la même étude, éclaire ce point au moins pour ce niveau. Lors d'une série de 15 entretiens individuels d'une demi-heure, *tous* les étudiants concernés (qui eux non plus n'avaient pas critiqué l'hypothèse discutée ici) ont jugé cette discussion accessible et importante à mener malgré le temps qu'elle avait pris (environ une demi-heure). Un traitement équivalent pour des étudiants de licence (troisième année universitaire) a donné lieu au même jugement chez 18 des 21 étudiants présents, dont 17 ajoutaient, sur question explicite, y avoir pris un réel plaisir (coté 3 ou 4 sur une échelle de 1 à 4).

Ces éléments d'évaluation suggèrent qu'il vaut la peine de lier l'aspect local des interactions impliquant un élément de surface d'enveloppe à l'aspect global de la poussée. Paradoxalement, l'aspect local renvoie à l'extension et à l'inhomogénéité, et n'est pas dimensionnellement réducteur. En revanche, le calcul global sur la base d'une valeur moyenne de pression évoque ce que Besson (Besson, 2005, p. 447 ; Besson & Viennot, 2004) disait du gaz parfait : c'est le « point matériel de la thermodynamique ». En effet, on parle bien du volume de l'enveloppe pour calculer les masses de gaz en cause, le théorème d'Archimède est bien l'expression de la valeur d'une intégrale de surface. Mais si l'on pense la moyenne de la pression, utile pour le calcul des masses de gaz, comme s'étendant dans tout le volume concerné, celui-ci devient une étendue caractérisée par des valeurs uniques de grandeurs physiques intensives (ici pression, température), soit encore un ensemble de parties toutes équivalentes. Alors l'étendue du gaz perd une partie de sa pertinence physique, une fois perdue son inhomogénéité. On serait presque tenté de parler d'une « particule de volume V » comme on dit une « particule de masse m ». Bien entendu, on ne pourrait pas résoudre beaucoup de problèmes si on s'interdisait de prendre la moyenne de grandeurs physiques à telle ou telle fin, procédure la plupart du temps extrêmement fructueuse. Mais on arrive parfois, comme dans cet exemple, à l'absurde.

3. REMARQUES FINALES

Ces lignes s'attachent à remettre en examen des procédures courantes en physique et dont les enjeux sont usuellement peu explicités. Ces procédures qui impliquent à divers titres une réduction dimensionnelle, ou risquent d'y mener abusivement, sont très commodes pour beaucoup de calculs ou de constructions. De ce point de vue, il n'est pas si surprenant qu'elles apparaissent aux enseignants comme non problématiques.

Notons en tout cas qu'elles n'engagent nullement une quelconque vision de la matière constituant les objets étudiés, encore moins des préoccupations métaphysiques, des bannissements de principe du discontinu ou au contraire des appels à sa nécessité. Analyser une source lumineuse comme un ensemble de points ne préjuge en rien d'un modèle particulier pour la matière émettrice ou diffusante. De même, parler de « particule de masse m » ne sous-entend pas une structure discontinue de la matière. L'homogénéité des gaz indûment supposée dans l'exercice sur la montgolfière engage peut-être un modèle particulier chez ceux qui l'utilisent, mais c'est vers une sorte de particule géante que débouche volontiers le raisonnement.

Car c'est bien là toute l'affaire : dans ces pratiques réductrices, ce n'est pas tant la structure supposée de la matière que les facilités du

raisonnement qui sont déterminantes. Au premier plan de ces facilités, il y a un flou confortable. Les points « A » et « B », compris au sens mathématique, permettent un traitement géométrique simple des « rayons » qui en proviennent, et pourtant ils sont autorisés à émettre de l'énergie. De même, la « particule de masse m » résume-t-elle sans doute, pour beaucoup, l'autorisation de calculer simplement les forces subies et leur somme vectorielle, sans pour autant qu'on lui attribue une densité infinie.

De façon plus conjecturale, il se peut qu'au-delà des facilités techniques, les pratiques réductrices évoquées plus haut rejoignent la plus fondamentale des tendances du raisonnement commun (Viennot, 1996) : se fonder sur l'idée d'objet quasi-matériel ou au moins géométriquement circonscrit, celui-ci étant aussi caractérisé par des valeurs bien définies de grandeurs physiques. De ce point de vue, ce qu'on désigne usuellement comme « un élément de surface dS » ne vaut pas un « point A », et en matière de valeur définie, le plus simple est de considérer la pression comme homogène. Comme d'autres tendances de raisonnement réputées communes, celle-ci ne saurait faire figure d'accusée en tant que telle : chercher à définir des objets d'analyse simples est une démarche naturelle et fructueuse. Ce que souligne ce texte, c'est l'intérêt d'en garder les avantages tout en surveillant de près les limites. Et justement, on aperçoit dans les exemples ci-dessus l'incroyable absence de vigilance où peuvent nous entraîner nos rituels d'enseignement.

Là où apparaissent bien clairement les difficultés, c'est tout particulièrement lorsque l'on se préoccupe de cohérence entre les points de vue : en optique, les questions d'énergie s'accommodent très mal de la vision pointilliste de l'objet ; en statique des fluides, la montgolfière risque d'apparaître stable ou en chute libre selon le point de vue adopté.

Sur le plan de l'éducation au raisonnement scientifique, le débat sur les réductions dimensionnelles explicites ou non, assumées ou non par l'enseignement, éventuellement subrepticement ajoutées par celui qui apprend, est sans doute une question vive si l'on s'attache à la cohérence de la théorie enseignée. Si, comme souvent, on attend surtout des élèves qu'ils mettent en œuvre des algorithmes classiques, les réflexions qui précèdent sont sans objet. Revenant à l'hypothèse inverse, les quelques éléments expérimentaux cités ici laissent penser que, lorsqu'on met en œuvre des pratiques d'analyse plus serrées, du moins plus explicites et maîtrisées, on peut observer que la quasi-unanimité des personnes concernées y trouvent intérêt et plaisir. Etant donné qu'il ne s'agit pas, dans l'exemple en question, d'un sujet sensationnel comme le big bang ou les techniques nanométriques, on peut émettre l'hypothèse que ce plaisir relève d'une satisfaction proprement intellectuelle.

Au-delà des interventions didactiques suggérées au fil de cet article, à propos de tel ou tel exemple, on peut voir dans le rassemblement qu'il propose des traces de plusieurs phénomènes qui méritent attention :

- le développement considérable qu'ont connu les études sur les conceptions et raisonnements des apprenants de tout niveau, depuis trente ans, ne doit pas conduire à penser que le champ des études sur les difficultés communes est clos. Il reste un risque fort (notamment chez les enseignants) d'inattention à ce propos ;
- pour certaines de ces difficultés, un tel risque peut être mis en rapport avec l'existence de rituels d'enseignement littéralement encastrés dans les pratiques communes. Cette idée est loin d'être neuve (voir en particulier les résultats du projet européen *Science Teacher Training in an Information Society* : Pinto, 2002 ; Hirn, 1998 ; Hirn & Viennot, 2000) mais il n'est pas pour autant simple de mesurer à quel point ces rituels affectent les divers acteurs impliqués dans le système éducatif, dont les enseignants et rédacteurs de textes d'orientation ou d'ouvrages scolaires, voire les chercheurs ; ceci à propos de contenus d'une déroutante banalité (l'image comme ensemble de points, plus lumineuse s'il arrive « plus de rayons » en chaque point image, la montgolfière dont les pressions interne et externe s'équilibrent à l'embouchure, etc.) ;
- dépassant la considération isolée de telle ou telle conception chez ceux qui apprennent, une catégorisation telle que celle proposée ici peut contribuer à guider une démarche de vigilance, d'analyse de difficultés et d'intervention didactique à propos de contenus très divers ;
- ce qu'il advient chez les enseignants après une éventuelle prise de conscience des points précédents, et tout particulièrement leur estimation des bénéfices escomptables pour leurs élèves, est en soi un sujet de recherche à développer. Les indices brièvement évoqués ici suggèrent que nombre d'entre eux sont peu confiants dans l'aptitude des élèves à bénéficier d'explicitations visant plus de cohérence, au prix d'un peu de temps. Cette observation mérite d'autant plus l'attention que des observations directes sur des étudiants mettent en question un tel pessimisme (Viennot, 2006).

Ces points sont actuellement objets de développements de recherche très différents. Il serait particulièrement utile que soient menées des études permettant d'évaluer le degré de généralité des quelques indications recueillies lors des expériences citées ici, qui concernent le contraste entre réactions d'étudiants et pessimisme d'enseignants sur les thèmes marqués par une forte ritualisation des pratiques.

BIBLIOGRAPHIE

- BEATY W. (1987). The origin of misconceptions in optics ? *American Journal of Physics*, vol. 55, p. 872-13.
- BERTIN M., FAROUX J.-P. & RENAULT J. (1986). *Optique et Physique Ondulatoire*. Paris : Bordas.
- BESSON U. (2005). Le mésoscopique en physique et en didactique. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 873, p. 441-462.

- BESSION U. & VIENNOT L. (2004). Using models at mesoscopic scale in teaching physics: two experimental interventions on solid friction and fluid statics. *International Journal of Science Education*, vol. 26, n° 9, p. 1083-1110.
- BUTY C. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, vol. 26, n° 5, p. 579-604.
- COLMEZ F. & PARZYSZ B (1993). « Le vu et le su dans l'évolution de dessins de pyramides, du CE2 à la seconde ». In A. Bessot et P. Vérillon. *Espaces graphiques et graphismes d'espaces : contribution de psychologues et de didacticiens à l'étude de la construction des savoirs spatiaux*. Grenoble : Éd. La Pensée Sauvage, p. 35-55.
- CRAWFORD F. (1968). *Waves. Berkeley Physics course*, vol. 3. New York : McGraw-Hill.
- DE BROGLIE L. (1941). *Continu et discontinu en physique moderne*. Paris : Albin Michel.
- FAWAZ A. & VIENNOT L. (1986). Image optique et vision. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 686, p. 1125-1146.
- FEHER E. & RICE K. (1987). A comparison of teacher-students conceptions in optics. *Proceedings of the Second International Seminar: Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, vol. 2, p. 108-117.
- FRANCE : ministère de l'Éducation nationale (2005). *Programme des collèges physique-chimie, classe de quatrième*. Hors série n° 5 du *Bulletin Officiel* du 25 août 2005, p. 51-60.
- FRANCE : ministère de l'Éducation nationale (2000). *Programme de physique-chimie, classe de première, série scientifique*. Hors série n° 7 du *Bulletin Officiel* du 31 août 2000, p. 181-205.
- FRANCE : ministère de l'Éducation nationale (2001). *Programme de physique-chimie, classe de terminale de la série scientifique*. Hors série n° 4 du *Bulletin Officiel* du 30 août 2001, p. 73-105.
- FRANCE : ministère de l'Éducation nationale (2002). *Accompagnement des programmes de physique de la classe de première S*. Paris : CNDP.
- FRANCE : ministère de l'Éducation nationale : groupe technique disciplinaire de physique (1992). *Document d'accompagnement du programme de quatrième*. Paris : ministère de l'Éducation nationale.
- GALILI Y. & HAZAN A. (2000). Learners' Knowledge in Optics. *International Journal of Science Education*, vol. 22, n° 1, p. 57-88.
- GIANCOLI D. (1993). *Physique générale 3 : ondes, optique et physique moderne*. Bruxelles : De Boeck.
- GILBERT J., BOULTER C. & RUTHERFORD M. (1998) Models in explanations. *International Journal of Science Education*, vol. 20, n° 2, p. 187-204.
- GOLDBERG F. & MC DERMOTT L. (1987). An investigation of students' understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, vol. 55, n° 2, p. 108-119.
- GUESNE E. (1981). Un modèle qualitatif : la formation des images par une lentille convergente. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 630, p. 511-520.
- GUIDONI P. (2005). A resonant-dynamics model to account for success and insuccess in understanding, motivation to understanding, mediation of understanding, key note address. *Contribution of Research to Enhancing Students' Interest in Learning Science*. Barcelone : ESERA.
- HECHT E. (1987). *Optics*. Reading : Addison-Wesley.
- HECHT E. (1999). *Physique*. Bruxelles : De Boeck.
- HIRN C. & VIENNOT L. (2000). Transformation of didactic intentions by teachers: the case of geometrical optics in grade 8. *International Journal of Science Education*, vol. 22, n° 4, p. 357-384.
- KAMINSKI W. (1989). Conceptions des enfants et des autres sur la lumière. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 716, p. 973-991.
- KAMINSKI W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*, thèse, université Paris 7.

- KAMINSKI W. (1993). Rayons épinglés ou comment tracer les rayons lumineux en quatrième. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 750, p. 29-33.
- MAURINES L. (2001). *Le raisonnement géométrique en termes d'objet dans la physique des ondes*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, université Paris 11.
- MAURY J.-P. (1987). *L'atmosphère*. Paris : Hachette.
- MAY M. (1993). *Introduction à l'optique*. Paris : Dunod.
- MENIGAUX J. (1991). Raisonnements des étudiants et des lycéens en mécanique du solide. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 738, p. 1419-1429.
- PARZYSZ B. (1991). Representation of space and students' conceptions at high school level. *Educational Studies in Mathematics*, vol. XXII. Dordrecht : Kluwer, p. 575-593.
- PINTO R. (2002). Introduction to the Science Teacher Training in an Information Society (STTIS) project. *International Journal of Science Education*, vol. 24, n° 3, p. 227-234. Disponible sur Internet : <http://www.blues.uab.es/~idmc42> (consulté le 24 avril 2006).
- RIGAUT M. & VIENNOT L. (2002). Réduire le centre d'inertie : jusqu'où ? *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 841, p. 419-425.
- TAYLOR R. (1994). *Colour in our lives: Master classes series*. London: Royal Institut.
- VIENNOT L. (1996). *Raisonnement en physique, la part du sens commun*. Bruxelles : De Bœck.
- VIENNOT L. (2005). "Teaching rituals and students' intellectual satisfaction: What can we do ?" *Word View on Physics Education: International Conference Physics Education, university of New Delhi*. London: World Scientific Publishing, sous presse.
- VIENNOT L. (2006). Teaching rituals and students' intellectual satisfaction. *Physics Education*, (à paraître en juillet 2006).
- VIENNOT L. & KAMINSKI W. (2005). Can we evaluate a critical detail of teaching practice? The case of a diagram in optical imaging. *ESERA Conference, Barcelone* (à paraître dans *International Journal of Science Education*, disponible actuellement au LDSP, université Paris 7).

Cet article a été reçu le 07/11/2005 et accepté le 15/04/2006.

Analyse du raisonnement d'étudiants utilisant les concepts de base de l'électromagnétisme

Analysis of students' reasoning using the basic concepts of electromagnetism

Análisis del razonamiento de estudiantes que utilizan los conceptos de base del electromagnetismo

Analyse der Gedankengänge von Studenten, die die Grundbegriffe des Elektromagnetismus gebrauchen

Roja BAGHERI-CROSSON et Patrice VENTURINI

EA 3692, LEMME (DESEI)
Université Toulouse 3
rbagheri@cict.fr
patrice.venturini@cict.fr

Résumé

De rares travaux en didactique de la physique portant sur l'électromagnétisme ont montré l'existence, chez les étudiants, de difficultés concernant la compréhension et l'utilisation du concept de champ magnétique et des

concepts associés. Afin de comprendre ces difficultés, nous avons étudié les raisonnements mis en œuvre par des étudiants issus du DEUG sciences de la matière, lorsqu'ils mobilisent dans différentes situations les concepts de base de l'électromagnétisme, en nous référant à la théorie des champs conceptuels. Nous avons pu ainsi identifier les invariants opératoires utilisés et l'organisation de leurs conduites. Il apparaît que les étudiants interrogés sont très peu nombreux à contrôler la pertinence et la cohérence de leurs propos, que les invariants opératoires sont utilisés de manière non contextualisée et très souvent sans qu'un sens physique leur soit associé.

Mots clés : électromagnétisme, champ magnétique, théorie des champs conceptuels, invariant opératoire, schème, enseignement universitaire.

Abstract

Few works concerning the teaching of electromagnetism in physics class deal with a pupil's difficulties in understanding and using magnetic fields and its associated concepts. In order to better comprehend these difficulties, the thought process of some undergraduate students was studied as they applied the basic "theory of conceptual fields" in electromagnetics in various situations. The study was thus able to identify certain "operational invariants" and student organizational behaviour and showed that few mastered either the pertinence or the coherence of their answers. Furthermore, the "operational invariants" were not adapted to a problem-solving situation and were often used without any relation to physics.

Keywords: electromagnetism, magnetic field, theory of conceptual fields, operational invariants, scheme, magnetic field, university education.

Resumen

Los muy pocos trabajos en didáctica de las ciencias físicas que se relacionan con el electromagnetismo han mostrado que existen dificultades para los estudiantes en cuanto a la comprensión y a la utilización del concepto de campo magnético y otros conceptos asociados. Para entender esas dificultades hemos estudiado los razonamientos aplicados por estudiantes de segundo curso universitario de Ciencias de la Materia cuando mobilizan los conceptos de base del electromagnetismo en diferentes situaciones y refiriéndonos a la teoría de los campos conceptuales. De este modo hemos podido identificar los invariantes operatorios utilizados y la organización de sus progresiones. Es patente que los estudiantes interrogados son muy pocos en controlar la pertinencia y la coherencia de sus respuestas y que utilizan los invariantes operatorios de modo no contextualizado y muy a menudo sin haberles asociado un sentido de ciencias físicas.

Palabras clave : electromagnetismo, campo magnético, teoría de los campos conceptuales, invariante operatorio, esquema, enseñanza universitaria.

Zusammenfassung

Einige seltene Arbeiten über die Didaktik der Physik, die sich auf den Elektromagnetismus beziehen, haben gezeigt, dass die Studenten auf Schwierigkeiten stoßen, um den Begriff von Magnetfeld und die damit verbundenen Begriffe zu verstehen und zu gebrauchen. Um diese Schwierigkeiten zu verstehen, haben wir die Gedankengänge untersucht, die die Studenten, die ein Grundstudium (DEUG) in den Erd- und Naturwissenschaften abgeschlossen haben, entwickeln, wenn sie in verschiedenen Situationen die Grundbegriffe des Elektromagnetismus einsetzen, wobei wir uns auf die Theorie der Begriffsfelder berufen. So haben wir die benutzten operativen Invarianten und die Organisation ihrer Verhalten identifizieren können. Es ist klar ersichtlich, dass sehr wenige der befragten Studenten die Stichhaltigkeit und die Kohärenz ihrer Äußerungen überprüfen, es zeigt sich auch, dass die operativen Invarianten auf eine nicht kontextuelle Weise benutzt werden und sehr oft, ohne dass eine physikalische Bedeutung mit ihnen verbunden ist.

Schlüsselwörter: *Elektromagnetismus, Magnetfeld, Theorie der Begriffsfelder, operative Invariante, Schema, Hochschulwesen.*

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Les travaux de recherche en didactique de la physique portant sur l'utilisation des concepts en électromagnétisme sont rares. Ceux qui ont été menés concernent les conceptions de jeunes élèves sur les phénomènes magnétiques, les difficultés éprouvées par des étudiants à donner du sens aux concepts et la propension à utiliser des procédures, les modèles mentaux relatifs au magnétisme, la nature du raisonnement en présence d'un champ, le type d'enseignement à dispenser pour améliorer la situation.

L'étude des conceptions sur les phénomènes magnétiques de certains des élèves marocains interrogés par Maarouf & Benyamna (1997) montre qu'ils ont une représentation de l'aimantation qui est « causale linéaire ». Celle-ci résulte du « passage de quelque chose d'un agent (source de champ magnétique, de tension, circuit) à un patient (objet à aimanter, circuit) », la « perte de ce quelque chose » entraînant une désaimantation. L'intermédiaire (médiateur entre agent et patient) peut être abstrait (force, énergie) ou de type substantialiste (électrons, ions, matière magnétique). Maarouf & Benyama (1997) constatent également une représentation conçue à partir des interactions magnétiques, attribuant au magnétisme « le statut d'une chose abstraite (force magnétique) ou d'une substance (matière de l'aimant, charges électriques) localisée dans les endroits précis des corps manipulés ».

Deux études mettent en évidence les difficultés d'étudiants à donner du sens aux concepts et la propension à utiliser des procédures. Ainsi, selon Venturini, Albe & Lascours (2000), les étudiants de licence (dans la limite de leur échantillon étudié) ont des difficultés à donner un sens physique aux concepts fondamentaux de l'électromagnétisme (champ magnétique, flux magnétique et induction) et à établir des liens entre eux. Ces étudiants disposent de connaissances parcellaires, liées à une situation particulière et utilisent les formules et les outils mathématiques de manière procédurale. Greca & Moreira (1997) parviennent à des conclusions sensiblement identiques en analysant la résolution de problèmes d'électromagnétisme faite par des élèves ingénieurs au Brésil. Ils constatent qu'ils utilisent des définitions et des formules qu'ils manipulent de manière routinière et témoignent d'une organisation cognitive très pauvre.

Tarisco Borges & Gilbert (1998) ont examiné les modèles mentaux utilisés par des lycéens, des professeurs de physique, des techniciens et des ingénieurs anglais spécialistes en électricité. Leurs résultats révèlent l'existence de cinq modèles différents dans lesquels le magnétisme est respectivement conçu :

- à partir de l'attraction des objets environnants : « le magnétisme comme attraction » ;
- comme une région de l'espace où existent des interactions : « le magnétisme comme un nuage » ;
- comme résultant de l'interaction de charges électriques : « le magnétisme comme l'électricité » ;
- comme lié à des phénomènes de polarisation électrostatique : « le magnétisme comme une polarisation électrique » ;
- comme un champ : « le modèle du champ ».

La notion de champ magnétique reste donc confuse et l'interaction magnétique n'est que rarement explicitée. Enfin les auteurs soulignent le nombre important de réponses formulées en termes d'électricité.

L'étude de Viennot & Rainson (1992) concerne les types de raisonnement utilisés à propos du champ électrique. Ces chercheuses ont montré que des étudiants en classe de mathématiques spéciales technologiques, placés dans des situations où l'influence de plusieurs facteurs sur le champ électrique doit être prise en compte, privilégient un « raisonnement causal linéaire ». Un des obstacles qu'elles ont repéré est résumé dans la formule « champ [électrique] si mobilité ». Celle-ci traduit le fait que les étudiants raisonnent souvent comme si une cause n'existait qu'en cas d'effet manifeste.

Enfin Van Weren *et al.* (1982) constatent que des étudiants hollandais en première année universitaire ont mieux réussi à résoudre les problèmes après une reconstruction du cours classique d'électromagnétisme sous forme de deux programmes : un premier qui décrit le savoir concernant le cours d'électromagnétisme (les relations clés du domaines) et le second

qui décrit les actions et les méthodes de pensée qui sont pertinentes pour acquérir et utiliser ce savoir (schème de résolution d'un problème d'électromagnétisme).

Quel que soit le public, cette brève synthèse de résultats obtenus met en évidence l'existence de difficultés importantes liées à l'utilisation du concept de champ magnétique. Cependant aucune des études précédentes n'a analysé la genèse de ces difficultés, dans le but de mieux les comprendre. C'est pourquoi nous avons choisi d'examiner la manière dont les étudiants raisonnent lorsqu'ils utilisent le concept de champ magnétique et les concepts associés (Bagheri-Crosson, 2004). Cet article rapporte une partie de ce travail, centrée sur la manière dont ils organisent leurs conduites mentales dans cette situation.

Dans un premier temps, nous évoquons le cadre théorique sur lequel repose l'étude réalisée, basée essentiellement sur la théorie des champs conceptuels de Vergnaud (1990). Nous présentons ensuite la méthodologie utilisée qui décrira notamment la manière dont nous avons rendu compte des raisonnements des étudiants. Enfin la dernière partie de ce texte rapporte certains des résultats obtenus concernant leurs conduites et quelques interprétations possibles.

CADRE THÉORIQUE

La théorie des champs conceptuels de Vergnaud (1990) fournit un cadre théorique aux recherches sur les activités cognitives complexes, notamment celles qui relèvent des sciences et des techniques. Elle explique les processus de formation des concepts et leur utilisation, et c'est précisément cela que nous cherchons à comprendre dans le cas de l'électromagnétisme, comme Vergnaud lui-même a pu le faire dans le domaine des mathématiques.

Vergnaud (1990) définit la notion de champ conceptuel comme « un ensemble de situations dont le traitement implique des schèmes, concepts et théorèmes en étroite connexion, ainsi que les représentations langagières et symboliques susceptibles d'être utilisées pour les représenter ».

Il appelle schème « l'organisation invariante de la conduite pour une classe de situations donnée » en précisant que « c'est l'organisation qui est invariante, non pas la conduite ». Selon Vergnaud (1998), « le schème n'organise pas que la conduite observable, mais également l'activité de pensée sous-jacente ». Selon lui, cette organisation (le schème) est formée nécessairement de quatre composantes :

- « un but, des sous-buts et anticipations » ;
- « des règles d'action, de prise d'information et de contrôle » ;

- « des invariants opératoires, les concepts-en-acte et les théorèmes-en-acte ». Le mot « invariants » est utilisé car les relations et propriétés sont les mêmes pour un concept donné et le mot « opératoires » car les connaissances utilisées par le sujet sont opérationnelles dans l'action ;
- « des possibilités d'inférence en situation ».

Les concepts-en-acte et théorèmes-en-acte sont donc les éléments cognitifs (souvent implicites) qui permettent à l'action du sujet d'être opératoire :

- les théorèmes-en-acte sont des énoncés ou des propositions tenus pour vrais par le sujet dans l'action (mais qui peuvent en fait être vrais, partiellement vrais ou faux) ;
- les concepts-en-acte sont les objets et prédicats tenus pour pertinents par le sujet dans l'action (mais qui peuvent en fait ne pas être pertinents).

L'action dans laquelle les concepts-en-acte et les théorèmes-en-acte s'expriment peut aussi être une action « en pensée ». En effet, selon Vergnaud (2002), le schème organise le déroulement temporel de l'activité, quel que soit le type d'activité : « s'il est vrai que les gestes sont la meilleure preuve de l'existence de formes organisées de l'activité, les suites d'opérations, les enchaînements discursifs et les raisonnements sont aussi de bons exemples, lorsqu'on parvient à les analyser... ». Ces derniers sont alors à inférer à partir des observations faites.

Barth (1987) définit le concept comme « une idée abstraite et générale qui permet de caractériser des données sensibles et construites », comme par exemple le concept du champ magnétique. Vergnaud (1990) rend opératoire cette définition classique d'un concept en le décrivant comme un triplet de trois ensembles :

- l'ensemble des situations de référence (S) qui donnent du sens au concept ;
- l'ensemble des invariants opératoires de différents niveaux (I) qui sont constitutifs du concept (propriétés, relations, etc.) ;
- l'ensemble des signifiants ou systèmes symboliques (s) qui permettent de symboliser le concept, ses propriétés, et les situations qu'il permet de traiter.

Selon lui, le triplet (S, I, s) fait référence au processus de conceptualisation tout entier et nous aide à appréhender la manière dont les étudiants comprennent et utilisent les concepts (dans notre cas, en électromagnétisme). Cette approche appelle une méthodologie spécifique que nous allons maintenant décrire.

MÉTHODOLOGIE

Afin de comprendre la manière dont ils raisonnent lorsqu'ils sont confrontés à l'usage du concept de champ magnétique, nous avons observé et questionné des étudiants dans des situations qui mettent en jeu ce

concept et qui ont pour objet de décrire, prévoir et interpréter des phénomènes électromagnétiques. Nous avons ensuite analysé les données recueillies.

Les situations constituant le champ conceptuel

Nous avons proposé aux étudiants huit situations à analyser et à interpréter : quatre situations prototypiques étudiées en cours d'électromagnétisme, auxquelles ont succédé dans un ordre aléatoire quatre situations ouvertes, mais analogues à chacune des précédentes quant aux raisonnements à mettre en œuvre. Les situations classiques sont celles explicitées dans l'enseignement universitaire et présentes dans les ouvrages de physique de ce niveau. Les situations ouvertes sont des situations de la vie courante qui mettent en jeu les propriétés essentielles du champ magnétique. Les résultats que nous présentons ici sont liés à trois situations classiques et ouvertes : l'induction magnétique¹, l'action d'un champ magnétique sur un courant électrique et la propagation du champ magnétique. Les contenus détaillés de ces situations seront précisés plus loin.

Recueil des données

La verbalisation constituant d'après Vergnaud (1998) un moyen de « rendre compte de l'activité cognitive d'un sujet humain dans une tâche ou situation donnée », les étudiants étaient invités à verbaliser leurs pensées de façon orale et écrite. Cela constituait pour nous le moyen d'identifier, dans les raisonnements des étudiants, les buts qu'ils se fixent, de connaître les invariants opératoires qu'ils mobilisent et de repérer les inférences qu'ils effectuent afin d'atteindre les buts fixés. C'était également un moyen d'identifier l'éventuelle organisation invariante des conduites, autrement dit les schèmes mis en œuvre. Nous avons qualifié ces explications apportées par les étudiants de « spontanées ».

Avec les mêmes objectifs, nous avons ensuite cherché à obtenir des étudiants des explications complémentaires que nous avons désignées par « explications sollicitées », et la stabilité de leurs réponses a été testée par le biais des relances (Weil-Barais, 1991).

Ces entretiens ont été réalisés après l'enseignement de l'électromagnétisme dans le vide et avant celui dans la matière. Les étudiants étaient informés qu'ils allaient être interrogés sur leurs connaissances en électromagnétisme. Les entretiens ont eu lieu dans un laboratoire de l'université, ont duré chacun environ 80 minutes et ont été enregistrés et retranscrits en intégralité, en vue d'une analyse.

(1) L'induction magnétique est à la fois un concept et une propriété d'un concept (celle du champ magnétique).

Groupe d'étude

Ces entretiens de type semi-directif ont été réalisés avec 17 étudiants en licence de sciences physiques et de physique fondamentale, ou en préparation au CAPES, tous issus du même DEUG sciences de la matière et sélectionnés sur la base du volontariat. La taille de l'échantillon des étudiants interrogés nous conduit à considérer qu'il s'agit d'une étude de cas (Van der Maren, 1996).

Traitement des données

Afin de comprendre la manière dont les étudiants raisonnent face à une situation mettant en jeu les propriétés du champ magnétique, nous avons cherché à identifier les invariants opératoires utilisés implicitement ou explicitement et, grâce à l'articulation de ces invariants, nous avons inféré les raisonnements mis en œuvre. Nos propositions sur ce sujet ont donc un caractère hypothétique. Toutefois, les questions étant circonscrites, les invariants opératoires susceptibles d'être utilisés sont en nombre réduit. Cela facilite leur identification et conforte la probabilité que celle-ci soit pertinente. Par ailleurs, même si nous n'en présentons qu'une, il existe souvent plusieurs possibilités d'articulation de ces invariants, liées à une organisation chronologique différente du raisonnement. Ainsi le caractère hypothétique de la solution que nous proposons ne remet pas en question les conclusions qui seront tirées. Les raisonnements que nous avons reconstruits à partir des propos d'un étudiant constituent donc des « raisonnements inférés ».

Vocabulaire utilisé

Avant de présenter certains des résultats obtenus lors des entretiens avec les étudiants, nous souhaitons apporter quelques précisions sur le sens que nous donnons à certains termes que nous utilisons. Nous verrons, en prenant connaissance des résultats, que les conduites des étudiants sont caractérisées par la nature des invariants opératoires mobilisés, par leur possible contextualisation et par la nature du contrôle éventuellement effectué sur leurs raisonnements afin de vérifier leur cohérence. Les précisions de vocabulaire apportées ici concernent donc ces trois points, en sachant que les typologies correspondantes ont été établies de manière inductive et *a posteriori* par les chercheurs.

Les invariants concernés sont constitués par des relations mettant en jeu des éléments du réel et des éléments conceptuels. Par élément du réel, nous entendons tout ce qui concerne les faits, phénomènes (observés) et grandeurs mesurées dans une situation physique ; par élément conceptuel, tout ce qui concerne une construction humaine du scientifique ou de l'étudiant, à l'intérieur de la structure d'un modèle (Robardet & Guillaud, 1994, p. 82). Ces invariants, qui peuvent avoir une pertinence scientifique ou non, peuvent être :

- des invariants opératoires descriptifs mettant en relation deux éléments du réel que nous appelons « R-R » : il s'agit là des invariants opératoires phénoménologiques dépourvus de toute interprétation physique ;
- des invariants opératoires interprétatifs mettant en relation un élément du réel et un élément conceptuel vu dans l'enseignement secondaire, désignés par « R-C » ;
- des invariants opératoires interprétatifs mettant en relation deux éléments conceptuels vus dans l'enseignement secondaire, nommés « C-C » ;
- des invariants opératoires interprétatifs mettant en relation deux éléments conceptuels étudiés à l'université, désignés par « C-C-U ». Ces derniers sont donc des invariants correspondant à un niveau d'interprétation plus élaboré du phénomène.

Tous ces invariants peuvent être exprimés sous une forme :

- générique, c'est-à-dire formulés dans un contexte général en physique (par exemple, « un courant électrique crée un champ magnétique ») ;
- contextualisée, c'est-à-dire centrés sur la situation proposée (pour ces invariants, les caractéristiques des grandeurs physiques utilisées dans le raisonnement sont spécifiées).

Quant au contrôle fait par les étudiants sur leur raisonnement, il concerne la mise en relation critique de leurs propos avec les buts fixés au départ et / ou avec les savoirs scientifiques, ainsi que la vérification de la cohérence du raisonnement effectué. Le contrôle est présent et productif lorsqu'il aboutit à une solution correcte et pertinente, mais le raisonnement peut apparaître dénué de tout contrôle apparent.

RÉSULTATS

Nous explicitons, dans le cadre restreint de ce texte, les deux modes les plus fréquents d'organisation des conduites mises en œuvre dans les raisonnements (70 % des 272 observations effectuées⁽²⁾) et un des modes d'organisation les plus rares (3 % des observations effectuées). Afin de les présenter, en illustrant ainsi la manière dont nous avons travaillé, nous proposons quelques extraits significatifs des réponses de trois étudiants chez qui on les rencontre. On retrouve en effet chez eux, dans la très grande majorité des situations physiques à interpréter, une organisation similaire des conduites lorsqu'ils sont dans le même mode d'explication (spontané ou sollicité). On peut donc assimiler cette organisation à un schème, que l'on retrouve aussi chez d'autres étudiants.

(2) Les 272 observations correspondent à 17 étudiants observés dans 8 situations différentes, à la fois en situation d'explication « spontanée » et en situation d'explication « sollicitée ».

Organisation des conduites les plus courantes

Nous évoquons ici les réponses de Florent (étudiant en licence de physique fondamentale) et Arnaud (étudiant en licence de sciences physiques), dont les conduites face à des situations prototypiques sont organisées selon les deux modes les plus courants. Prenons par exemple, dans le cas de Florent, la situation prototypique « aimant-spire » relative au phénomène d'induction et, dans le cas d'Arnaud, la situation prototypique « rails de Laplace » relative à l'action d'un champ sur un courant.

Premier type de conduite courante

La situation « aimant-spire » est liée au phénomène d'induction, et concerne la variation du flux du champ magnétique à travers un circuit simple (une spire). Nous avons demandé aux étudiants d'interpréter le phénomène en leur montrant la figure ci-dessous : « on approche un aimant droit d'une spire, se passe-t-il quelque chose ? Si oui, interpréter le phénomène ».

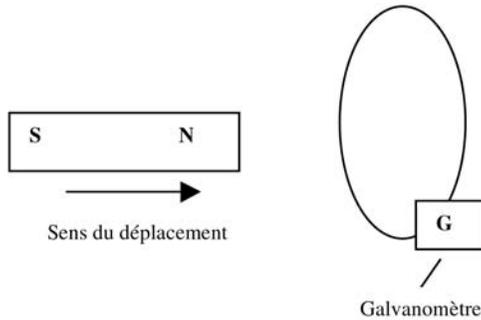


Figure 1 • Situation prototypique liée au phénomène d'induction et proposée à l'interprétation des étudiants

Un des enjeux de l'enseignement³ à propos de cette situation étant l'apparition d'un courant électrique à partir d'une variation du flux magnétique, la réponse que l'on peut attendre des étudiants est voisine de la forme suivante : « quand on déplace l'aimant, le flux de son champ magnétique à travers la spire varie et crée un champ électrique auquel on peut associer une force électromotrice induite $\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$ mettant les électrons de la spire conductrice en mouvement. Le sens du courant électrique est tel qu'il obéit à la loi de Lenz ».

(3) Les enjeux de l'enseignement de l'électromagnétisme dans les deux premières années d'université ont été identifiés à partir de l'analyse des ouvrages courants d'enseignement universitaire et validés par le co-auteur d'un des ouvrages les plus connus, professeur des universités.

Lorsqu'il est en situation de donner une explication spontanée, Florent commence par évoquer l'existence d'un champ magnétique qu'il associe probablement à l'aimant, s'arrête alors et évoque pour finir la source du champ magnétique : « tout déplacement d'électrons crée un champ magnétique ».

A partir des explications fournies par Florent de manière spontanée, nous inférons le raisonnement suivant, cette inférence conservant, comme toutes celles qui suivent, un caractère hypothétique (cf. plus haut la partie « traitement des données ») :

- un aimant crée un champ magnétique (invariant opératoire de type « R-C ») ;
- un déplacement d'électrons crée un champ magnétique (invariant opératoire de type « C-C »).

Si le premier invariant est justifié par la présence visible d'un aimant en mouvement, l'existence éventuelle d'un déplacement d'électrons n'est avérée ni dans la situation, ni dans son analyse, si bien que le second invariant, qui sur le plan formel est pertinent, apparaît ici sans lien logique avec le précédent. De fait, il n'existe donc pas de contrôle apparent et productif sur le raisonnement. Il n'existe pas non plus d'articulation entre les invariants opératoires utilisés qui sont simplement formulés en juxtaposition. De plus, les invariants ne sont pas contextualisés sur la situation proposée : le champ magnétique n'est par exemple pas spécifié en un ou plusieurs points de la figure.

En résumant l'analyse précédente, nous pouvons dire que Florent formule des invariants opératoires « R-C » et « C-C » de manière générique et ne procède à aucun contrôle apparent et productif du raisonnement.

Deuxième type de conduite courante

Exemple 1

A la suite des propos précédents concernant la situation « aimant-spire », nous sollicitons des explications complémentaires auprès de Florent. Après quelques moments de réflexion, il fournit la réponse suivante : « il y a un courant, le déplacement [variation] du champ magnétique crée un champ électrique qui met les électrons en mouvement dans la spire ».

A partir des explications fournies par Florent, nous inférons le raisonnement suivant :

- un aimant crée un champ magnétique (invariant opératoire de type « R-C ») ;
- quand on déplace l'aimant, on déplace (fait varier) le champ magnétique en tout point (invariant opératoire de type « R-C ») ;
- le déplacement (la variation) du champ magnétique crée un champ électrique (invariant opératoire de type « C-C ») ;
- il existe des charges mobiles dans la spire conductrice (invariant opératoire de type « R-C ») ;

- le champ électrique agit sur des charges électriques pour les déplacer (invariant opératoire de type « C-C »).

Nous l'interrogeons ensuite sur l'intensité du courant électrique liée à la mise en mouvement des électrons. Selon lui, « elle dépend de la vitesse d'approche de l'aimant... car plus le champ magnétique varie rapidement, plus le champ électrique est grand et plus le courant est important ». A notre demande, il traduit mathématiquement ce phénomène par la relation suivante : $\text{rot } \vec{B} = \frac{\vec{E}}{\epsilon_0}$, sans pouvoir apporter de commentaire, ni préciser ce que signifie « rotationnel ».

A partir des explications fournies par Florent, nous inférons le raisonnement suivant :

- si on déplace un aimant, on fait déplacer (varier) le champ magnétique en tout point (invariant opératoire de type « R-C ») ;
- le déplacement (variation) du champ magnétique crée un champ électrique (invariant opératoire de type « C-C ») ;
- le champ électrique crée un courant électrique (invariant opératoire de type « C-C ») ;
- plus on approche rapidement un aimant d'une spire, plus l'intensité du courant est grande (invariant opératoire de type « R-C »).

Contrairement à la conduite précédente, nous constatons que les invariants opératoires mobilisés sont articulés les uns aux autres et donc combinés. Nous considérons que cette combinaison est formelle car les réponses de Florent à d'autres questions ont montré que cet étudiant n'attribue pas de signifiés physiques aux signifiants utilisés (par exemple, il ne peut répondre aux questions « comment le champ électrique met-il les électrons en mouvement ? » ou « que signifie rotationnel ? »). Les invariants sont toujours mobilisés de manière générique : par exemple le sens du courant induit et les caractéristiques du champ électrique ne sont pas précisées. Par ailleurs, aucun contrôle ne semble effectué sur le raisonnement et sur sa traduction mathématique. Si, dans le premier cas, on peut supposer qu'il n'aurait rien apporté, il aurait permis dans le second de revenir sur la relation proposée qui ne présente aucune dépendance avec le temps, contrairement à ce que laisse entendre l'explication fournie par Florent dans laquelle la vitesse de déplacement de l'aimant intervient.

Exemple 2

Nous rapportons ici une partie des explications « sollicitées » fournies par Arnaud lorsqu'il devait interpréter la situation prototypique « rails de Laplace ». Cette situation concerne la force de Laplace liée à l'action d'un champ magnétique sur un élément de circuit, dans lequel circule un courant.

Les étudiants devaient répondre, en s'aidant de la figure 2, à la question suivante : « un circuit composé d'une barre conductrice mobile sur deux rails conducteurs fixes, d'un générateur et d'un interrupteur est plongé dans un champ magnétique constant (stationnaire et uniforme) et perpendiculaire au plan des rails. Quand on ferme l'interrupteur, la barre se déplace. Interprétez le phénomène. »

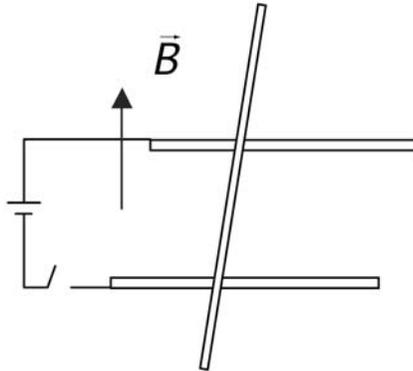


Figure 2 • Rails de Laplace

Un des enjeux de l'enseignement étant de mettre en évidence la force résultant de l'action d'un champ magnétique sur un conducteur, nous attendions des étudiants une réponse du type : « lorsqu'un courant circule dans un fil conducteur plongé dans un champ magnétique, celui-ci subit l'action d'une force, appelée force de Laplace telle que $\vec{F} = \int Id\vec{l} \wedge \vec{B}_a$. Sa direction est perpendiculaire à la direction du champ magnétique et à celle du courant électrique qui circule dans la barre ; son sens est tel que le trièdre $(\vec{i}, \vec{B}, \vec{F})$ soit direct. Le rail étant mobile, en fonction de la nature des frottements, il est susceptible de se déplacer vers la gauche sur le schéma ».

Selon Arnaud, qui avait été sollicité à nouveau pour expliquer pourquoi la barre se déplace, « une force est créée qui agit sur la barre, c'est les forces de Lorentz qui sont dues au champ magnétique ».

À partir des explications fournies par Arnaud, nous inférons le raisonnement suivant :

- une mise en mouvement est causée par une force (invariant opératoire de type « R-C ») ;
- un champ magnétique crée des forces de Lorentz (invariant opératoire de type « C-C ») ;
- les forces de Lorentz causent le mouvement de la barre (invariant opératoire de type « R-C »).

À la question « la barre bouge-t-elle en l'absence du champ magnétique ? », il répond en écrivant la relation mathématique $\vec{F} = q \vec{E} \dots$ sans apporter d'autre commentaire.

Les invariants opératoires mobilisés par Arnaud apparaissent articulés les uns aux autres et donc combinés. Nous considérons que cette combinaison est formelle car dans cette question comme dans d'autres, il associe la présence d'un champ magnétique à l'existence d'une force « magnétique », qu'il nomme systématiquement « force de Lorentz » : cette dernière paraît de ce fait plus apparentée à un signifiant qu'à un signifié. Les invariants sont formulés de manière générique : les caractéristiques de la force ne sont pas spécifiées, ni reliées à celles du champ. Enfin, il n'assure pas de contrôle sur ses propos : d'une part, il ne s'interroge pas sur la réalité physique de la force de Lorentz et sur son adéquation à la situation proposée, d'autre part, il propose l'existence d'un champ électrique pour expliquer le mouvement, alors que rien dans l'énoncé ne laisse supposer sa présence.

Conclusion

A partir des analyses précédentes, nous pouvons dire que Florent et Arnaud combinent de manière formelle des invariants opératoires « R-C » et « C-C » en les formulant sous forme générique et ne procèdent à aucun contrôle apparent et productif du raisonnement.

Organisation rare des conduites

Exemple 1

Nous rapportons ici une partie des explications « sollicitées » fournies par Frédéric (étudiant en licence de physique fondamentale) lorsqu'il a dû expliquer le fonctionnement du téléphone portable en répondant à la question non prototypique : « on émet un signal ici avec un téléphone portable, comment peut-on le recevoir dans une autre ville ou à l'autre bout de la ville ? ».

Un des enjeux de l'enseignement étant la propagation de proche en proche des ondes électromagnétiques, et de manière incidente l'induction, la réponse attendue des étudiants comportait tout ou partie des éléments suivants : « les communications par téléphone mobile cellulaire sont transmises grâce aux ondes électromagnétiques qui se propagent entre les mobiles et les stations-relais. L'onde électromagnétique est composée d'un champ magnétique et d'un champ électrique variables, dont les variations réciproques sont liées et assurent ainsi la propagation de proche en proche de l'onde électromagnétique. Après avoir été relayée, l'onde électromagnétique émise par le téléphone appelant parvient à l'antenne du téléphone portable

destinataire et selon la forme de l'antenne (circulaire ou rectiligne), la variation des champs électrique ou magnétique met en mouvement ses électrons libres. Il y a donc apparition d'un courant électrique qui est ensuite converti en son ».

Interrogé sur la transmission de l'onde électromagnétique, Frédéric énonce : « elle se propage, l'air c'est un milieu conducteur [silence] mais qu'est-ce je dis, on n'a pas besoin de support pour cette propagation, oui c'est une propagation de proche en proche... il y a le champ magnétique qui varie qui crée le champ électrique et ainsi de suite... c'est le phénomène d'induction, je dirais que les champs stationnaires ne provoquent pas de mouvement / non je dis une bêtise, euh / ça ne veut rien dire... ben c'est bien l'induction, il y a \vec{B} qui varie qui crée \vec{E} et ainsi de suite... ». A notre demande de représentation de l'onde électromagnétique, il propose le schéma suivant (voir figure 3) et énonce « le vecteur \vec{k} est la direction de la propagation, les deux champs vont varier dans ce plan... ».

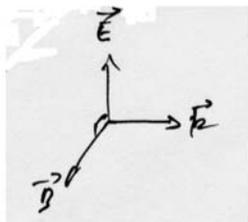


Figure 3 • Représentation de l'onde électromagnétique selon Frédéric

A partir des explications fournies par Frédéric de manière sollicitée, nous inférons le raisonnement suivant :

- l'onde se propage d'un téléphone à l'autre (invariant opératoire de type « R-C ») ;
- un milieu conducteur permet la propagation d'une onde électromagnétique (invariant opératoire de type « C-C-U ») ;
- l'air permet à l'onde de se propager (invariant opératoire de type « R-C »).

Puis le raisonnement continue :

- la propagation des ondes électromagnétiques ne nécessite pas de support matériel de propagation (invariant opératoire de type « C-C-U ») ;
- le champ magnétique variable crée un champ électrique (invariant opératoire de type « C-C-U ») ;
- le champ électrique variable crée un champ magnétique (invariant opératoire de type « C-C-U ») ;
- l'onde électromagnétique se propage sans support matériel et de proche en proche (invariant opératoire de type « C-C-U »).

Et enfin, le raisonnement se termine :

- le plan dans lequel varient le champ magnétique et le champ électrique est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde (invariant opératoire de type « C-C-U ») ;
- dans ce plan, le champ électrique et le champ magnétique restent perpendiculaires l'un à l'autre (invariant opératoire de type « C-C-U »).

Nous constatons sur cet exemple que les invariants opératoires mobilisés sont articulés les uns aux autres et donc combinés. Ces combinaisons se font à chaque fois avec un contrôle productif sur la signification et la cohérence des propos tenus, ce qui amène Frédéric à réorienter son raisonnement ou à le confirmer. Certains invariants sont partiellement contextualisés (par exemple la direction des champs électrique et magnétique est précisée, la nature de leur variation ne l'est pas).

Exemple 2

Nous rapportons ici une partie des explications « spontanées » fournies par Frédéric lorsqu'il a dû interpréter la situation prototypique mettant en jeu la force de Laplace.

Il identifie tout d'abord le phénomène et énonce : « on a un courant qui circule, des électrons en mouvement dans un champ magnétique et ils vont être soumis à la force de Lorentz. Je dis une bêtise peut-être / euh non là c'est la force de Laplace oui. La force de Laplace, c'est $\vec{F} = Id\vec{l} \wedge \vec{B}$, oui je pense que c'est ça ! Ben en fait la force de Laplace va agir sur tout le circuit mais comme la partie gauche est fixe, c'est juste la barre qui est mobile qui se déplace vers la gauche ou droite selon le sens du courant ».

A partir des explications fournies par Frédéric, nous inférons le raisonnement suivant :

- un mouvement (ici celui de la barre, annoncé dans la question) est causé par l'action d'une force (invariant opératoire du type « R-C ») ;
- des charges en mouvement soumises à un champ magnétique subissent la force de Lorentz (invariant opératoire de type « C-C-U ») ;
- lorsqu'un courant circule dans le circuit, des électrons se déplacent (invariant opératoire de type « C-C ») ;
- les électrons en mouvement dans le circuit électrique sont soumis à la force de Lorentz (invariant opératoire de type « C-C-U »).

Puis le raisonnement se poursuit :

- un élément de circuit plongé dans un champ magnétique et parcouru par un courant subit l'action de la force de Laplace (invariant opératoire du type « C-C ») ;
- le rail étant mobile et soumis à une force, il se déplace en fonction du sens du courant (invariant opératoire du type « R-C »).

Tout comme dans l'exemple précédent, les invariants opératoires mobilisés sont articulés les uns aux autres et donc combinés ; Frédéric se soucie du sens physique de ses propos et exerce un contrôle productif du raisonnement qui l'amène ici à abandonner la force de Lorentz. Certains invariants sont partiellement contextualisés (par exemple, le sens du déplacement de la barre n'est que partiellement évoqué).

Conclusion

A partir des deux exemples précédents et de l'analyse que nous en avons faite, nous pouvons dire que Frédéric combine de manière signifiante des invariants opératoires « R-C », « C-C » et « C-C-U » formulés de manière partiellement contextualisée, et procède à un contrôle productif du raisonnement.

Discussion

L'étude réalisée a permis d'isoler l'organisation des deux conduites les plus courantes : formulation (43 % des observations et ce fréquemment pendant la phase « spontanée ») ou combinaison formelle (27 % des observations) d'invariants opératoires « R-C » ou « C-C », énoncés de manière générique et sans contrôle apparent du raisonnement. A l'opposé, la combinaison signifiante d'invariants opératoires « R-C », « C-C » et « C-C-U », énoncés de manière partiellement contextualisée avec contrôle productif du raisonnement, constitue l'organisation d'une des conduites les plus rares (3 % des observations).

Ces résultats ne font pas apparaître de différence entre les étudiants en licence de notre échantillon et ceux en préparation au CAPES de sciences physiques. Ils mettent en évidence différents comportements : utilisation formelle des invariants opératoires ; absence de contextualisation ; faible mobilisation des connaissances universitaires ; juxtaposition sans combinaison d'invariants opératoires dans les raisonnements ; absence de contrôle sur les raisonnements effectués ; difficulté à fournir des explications de manière « spontanée ».

Ainsi, la plupart des étudiants interviewés formule ou combine de manière formelle des invariants opératoires sans s'interroger sur les significés physiques correspondants. Ils semblent mobiliser de cette manière des connaissances que nous appelons « prêtes à utiliser », qui peuvent être adaptées ou non à la situation proposée. De plus, la plupart des invariants opératoires utilisés sont énoncés de manière générique, sans les contextualiser à la situation particulière qui est à analyser.

Les connaissances universitaires apparaissent faiblement mobilisées. Sur l'ensemble de l'étude réalisée, seulement cinq étudiants mobilisent des invariants opératoires interprétatifs de niveau universitaire, et un seul de

manière signifiante. Ainsi par exemple, les concepts de moment magnétique, de flux, de force électromotrice sont absents des propos de la plupart des étudiants. L'utilisation prépondérante de connaissances issues du secondaire n'est pas sans poser de questions sur la nature de l'enseignement universitaire dispensé.

De plus, une partie des étudiants interrogés met en œuvre plusieurs raisonnements impliquant des invariants (théorèmes-en-acte) sans que ceux-ci soient liés et combinés entre eux. Cette constatation a également été faite par exemple par Greca & Moreira (1997) pour ce qui concerne la résolution de problèmes en électromagnétisme. Dans l'étude qu'ils ont réalisée, les étudiants utilisent les outils mathématiques de manière procédurale et travaillent principalement en juxtaposant des énoncés non reliés les uns aux autres, et non interprétés suivant un modèle mental. Venturini & Albe (2002) sont d'ailleurs parvenus à la même conclusion lors d'une étude sur l'électromagnétisme à ce même niveau universitaire.

Par ailleurs, si pour Richard (1990), « une théorie du fonctionnement cognitif doit comporter des mécanismes de remise en cause des interprétations [...] dans certaines conditions, l'interprétation construite est abandonnée et la construction d'une autre interprétation est entreprise », nous constatons que cette « remise en cause des interprétations », ou contrôle, n'apparaît pratiquement pas dans les raisonnements des étudiants interrogés. A l'exception d'un étudiant (Frédéric), le contrôle productif est quasiment inexistant et les contrôles improductifs ou épisodiquement productifs demeurent rares. Nous pouvons peut-être relier cette situation à l'absence de signifié physique déjà évoqué, voire à l'absence des invariants nécessaires, ou encore à la difficulté de fixer des buts à atteindre. En effet, selon Vergnaud (1990), « le fonctionnement cognitif du sujet en situation dépend de l'état de ses connaissances ».

Enfin, on remarque une difficulté à fournir des explications de manière « spontanée », d'autant plus perceptible que, comme dans le cas de Florent présenté plus haut, les propos des étudiants sont généralement beaucoup plus étoffés lors d'explications sollicitées. Ce comportement différent peut être probablement rattaché au décalage entre la forme prédictive de la connaissance et sa forme opératoire utilisée en résolution de problèmes (Vergnaud, 2001), ainsi qu'à la difficulté de fixer des buts au raisonnement.

L'analyse des schèmes de raisonnement mis en œuvre par les étudiants, grâce à la théorie des champs conceptuels de Vergnaud, a permis de dépasser le simple constat des difficultés classiquement pointées par les études menées sur l'utilisation des concepts de l'électromagnétisme. S'il reste encore à étudier plus finement ces raisonnements à l'aide des sciences cognitives, nous pouvons cependant émettre des hypothèses (qui seront à vérifier) sur les éléments liés à de tels comportements intellectuels :

- *le type d'enseignement reçu par les étudiants* : ces derniers sont rarement en situation d'interprétation, de formalisation de concepts et d'analyse critique de leurs propos. L'enseignement de l'électromagnétisme tel qu'il est pratiqué actuellement à l'université exige essentiellement en effet, selon les étudiants, la mise en œuvre des procédures de résolution de problème, aussi bien lors des séances de travaux dirigés qu'au moment des évaluations (Venturini, Albe & Lascours, 2000) ;
- *les rapports aux savoirs de la physique*, dont la plupart comportent une forte composante utilitaire, liée à des perspectives scolaires à court terme (Venturini & Albe, 2002) : les étudiants n'éprouvent pas de réel intérêt pour la physique, les apprentissages effectués sont uniquement destinés à l'obtention a minima du diplôme visé et ne permettent pas une maîtrise conceptuelle avérée ;
- *les obstacles épistémologiques* : l'électromagnétisme comporte un grand nombre de concepts formels relationnels, c'est-à-dire qui n'ont d'existence que par rapport à d'autres concepts, eux-mêmes complexes (vitesse, charge, force, etc.) L'histoire des sciences montre d'ailleurs l'existence de difficultés du même type dans la construction du savoir savant, comme par exemple la difficulté à appréhender la relation entre le champ électrique et le champ magnétique en régime variable, ou à interpréter le phénomène de propagation du champ magnétique ou des ondes électromagnétiques.

Enfin, même si accéder au raisonnement d'un individu reste toujours délicat, il semble que la méthode d'investigation utilisée pour rendre opérationnelle la théorie des champs conceptuels dans le domaine de l'électromagnétisme (qui lui était jusqu'à présent étranger), ait produit un certain nombre de résultats intéressants à approfondir à l'aide d'autres outils. Parmi ces résultats, notons ceux qui paraissent les plus importants, à savoir l'absence de contrôle sur les propos tenus et l'absence de signifiés physiques associés aux invariants, absences qui sont très probablement liées.

CONCLUSION

Les travaux déjà réalisés en électromagnétisme ont tous fait état des difficultés qu'ont les étudiants à apprendre ce domaine de la physique, quel que soit leur niveau. Pour essayer de comprendre ces difficultés, nous avons étudié les raisonnements mis en œuvre par des étudiants post-DEUG lorsqu'ils mobilisent les concepts de base de l'électromagnétisme, en utilisant la théorie des champs conceptuels de Vergnaud. En analysant leurs propos spontanés ou sollicités, formulés pour interpréter un ensemble de situations (prototypiques ou non), nous avons pu identifier les invariants opératoires qu'ils utilisent implicitement ou explicitement, et inférer les modes d'organisation de leur conduite. Dans le cas le plus fréquent, les étudiants formulent, en les juxtaposant ou en les combinant, des invariants opératoires reliant un

élément du réel à un élément conceptuel, ou reliant entre eux deux éléments conceptuels abordés dans l'enseignement secondaire. Ceux-ci sont énoncés sans contrôle de la part des étudiants, de manière formelle et générique. Dans un des cas les plus rares, les invariants sont énoncés de manière signifiante et partiellement contextualisée, combinés entre eux, et ils concernent aussi la mise en relation de concepts abordés à l'université. Les propos tenus sont contrôlés régulièrement pour s'assurer de leur cohérence et de leur pertinence vis-à-vis des savoirs scientifiques, des autres éléments du raisonnement et des buts fixés. L'absence de contrôle sur les raisonnements, l'absence d'attribution de signifié physique aux invariants utilisés et leur formulation de manière générique constituent donc des éléments caractéristiques d'une majorité de conduites des étudiants, lorsqu'ils interprètent une situation mettant en jeu les propriétés du champ magnétique.

Cette étude a ouvert une voie visant à mieux comprendre leurs difficultés. Elle gagnerait à être prolongée :

- en poursuivant l'analyse de l'activité cognitive des étudiants dans le domaine de l'électromagnétisme, par l'intermédiaire d'autres travaux de la psychologie cognitive ou plus largement des sciences cognitives, notamment ceux sur la mémoire (Jacob, 1998) et sur la structuration des connaissances (Bastien, 1997). Cette analyse pourrait d'ailleurs s'étaler dans le temps, du début des cours magistraux à quelques semaines après la fin du module sur l'électromagnétisme, pour repérer d'éventuelles évolutions dans les invariants utilisés et l'organisation des conduites dans les raisonnements ;
- en cherchant à mettre au point des ingénieries didactiques susceptibles de faire évoluer l'organisation des conduites dans les raisonnements, et à les évaluer. Elles devraient comporter des activités de contextualisation et d'explicitation systématique des concepts. En effet, notre classification des concepts a montré que les invariants universitaires ne sont pas utilisés ni compris. Dans ces activités, les étudiants auraient en plus à critiquer leur raisonnement et à en fixer régulièrement les buts. Ces activités pourraient être associées à un travail métacognitif (Dokic, 1997 ; Jacob, 1998, 2002 ; Pacherie, 2000).

Quelle que soit la piste que nous poursuivrons pour la suite de ce travail, nous adhérons, comme d'autres, à cette idée de Vergnaud (1990) selon laquelle une collaboration des didacticiens et des chercheurs en psychologie cognitive (ou plus généralement dans le domaine des sciences cognitives) serait fructueuse.

BIBLIOGRAPHIE

- BAGHERI-CROSSON R. (2004). *Mobilisation du concept de champ magnétique par des étudiants issus du DEUG sciences de la matière : analyse didactique à partir de la théorie des champs conceptuels*, thèse, université Paul-Sabatier, Toulouse.
- BARTH B. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris : Retz.
- BASTIEN C. (1997). *Les connaissances de l'enfant à l'adulte*. Paris : Armand Colin.
- DOKIC J. (1997). Compétence sémantique et psychologie du raisonnement. *Revue philosophique*, n° 2, p. 171-182.
- GRECA M. & MOREIRA M. (1997). The kinds of mental representation - models propositions and images - used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, vol. 19, n° 6, p. 711-724.
- JACOB P. (1998). Memory, learning and metacognition. In *Proceedings Conference on memory*, n° 321 (2-3), p. 253-259.
- JACOB P. (2002). "Seeing, perceiving and knowing". In *Analytic Philosophy on Knowledge and Cognition*, Paris Summer School / Carleton University, Ottawa.
- MAAROUF A. & BENYAMNA S. (1997). La construction des sciences physiques par les représentations et les erreurs : cas des phénomènes magnétiques. *Didaskalia*, n° 11, p. 101-118.
- PACHERIE E. (2000). Conscious experience and concept forming abilities. *Acta Analytica*, n° 26.
- RICHARD J.-F. (1990). *Les activités mentales : comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris : Armand Colin.
- ROBARDET G. & GUILLAUD J.-C. (1994). *Éléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques*. Grenoble : IUFM.
- TARISCO BORGES A. & GIBERT J. (1998). Models of Magnetism. *International Journal of Science Education*, vol. 20, n° 3, p. 361-378.
- VAN DER MAREN J.-M. (1996). *Méthode de recherche pour l'éducation*. Montréal : De Boeck.
- VAN WEREEN J., DE MUL F., PETERS M. et al. (1982). Teaching problem-solving in physics: a course in electromagnetism. *American association of Physics Teachers*, vol. 50, n° 8, p. 725-732.
- VENTURINI P., ALBE V. & LASCOURS J. (2000). « Rapport des étudiants au champ et au flux magnétiques ». In A. Chabchoub. *Rapports au savoir et apprentissage des sciences : actes du V^e colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences*, Sfax. Tunis : ATRD, p. 175-186.
- VENTURINI P. & ALBE V. (2002). Interprétation des similitudes et différences dans la maîtrise conceptuelle d'étudiants en électromagnétisme à partir de leur(s) rapport(s) au(x) savoir(s). *Aster*, n° 35, p. 165-186.
- VERGNAUD G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherche en didactique des mathématiques*, vol. 10, n° 2-3, p. 133-170.
- VERGNAUD G. (1998). « Qu'est ce que la pensée ? ». In G. Vergnaud. *Actes du colloque : « Qu'est ce que la pensée ? Compétences complexes dans l'éducation et le travail »*, Suresne. Paris : université Paris 8 (cédérom).
- VERGNAUD G. (2001). « Forme opératoire et forme prédicative de la connaissance ». In J. Portugais. *La notion de compétence en enseignement des mathématiques, analyse didactique des effets de son introduction sur les pratiques et sur la formation : actes du colloque GDM*, Montréal.
- VERGNAUD G. (2002). *Communication personnelle*, 31 décembre 2002, Paris.
- VIENNOT L. & RAINSON S. (1992). Students' reasoning about the superposition of electric field. *International Journal Science of Education*, vol. 14, n° 4, p. 475-487.
- WEIL-BARAIS A. (1991). *La recherche en psychologie*. Paris : Dunod.

Cet article a été reçu le 07/11/2005 et accepté le 01/02/2006.

Influence de la nature du texte d'un film de chimie sur son utilisation par un apprenant

**Influence of the nature of the narration
of a chemical education movie
on its use by students**

**Influencia de la naturaleza del comentario
de una película documental de ciencias químicas
sobre su utilización por un estudiante**

**Einfluss der Natur des Kommentars
eines Chemielehrfilms über seinen Gebrauch
durch die Lerner**

Bülent Pekdağ et Jean-François Le Maréchal

UMR Interactions corpus apprentissages et représentations (ICAR)
(CNRS, ENS-LSH, ENS Lyon, INRP, université Lyon 2)
École normale supérieure de Lyon
46, allée d'Italie, 69364 Lyon cedex 07, France
bulentpekdag@yahoo.fr
lemarech@ens-lyon.fr

Résumé

Ce travail permet de déterminer l'influence des commentaires accompagnant les images de films de chimie sur le fonctionnement des élèves et sur la construction de liens entre les concepts nécessaires à la réponse à des

questions portant sur le thème des acides et des bases. Des films possédant deux sortes de commentaires d'accompagnement ont été utilisés par 12 élèves de première scientifique lors de la construction de leurs réponses écrites. Nous avons trouvé que dans leurs réponses, les élèves utilisent mieux et plus fréquemment un certain type de commentaires dont les caractéristiques sont analysées.

Mots clés : film, chimie, connaissances, perceptible, reconstruit, image, commentaire d'accompagnement.

Abstract

This paper deals with how the accompanying text to an educational film on chemistry influences a pupil's means of acquiring the notions necessary for answering questions on acids and bases. Films with two specific narration types were consulted by twelve pupils aged 16-17. Analysis of the pupils steps using flow charts showed that they most frequently cited the film narrative's very words and/or images in their written answers. Interpretation of the images or re-use of the ideas in the films was however more limited. The study shows that certain narration types lead pupils to use film content more effectively and readily. Characteristics of such types were thus analysed in terms of the knowledge categories involved.

Keywords: educational films on chemistry, knowledge categories, perceptible, reconstructed, film images, the film narrative.

Resumen

Este estudio permite determinar la influencia de los comentarios que acompañan las imágenes de películas documentales de química sobre el funcionamiento de los alumnos y sobre la construcción de vínculos entre los conceptos necesarios a la respuesta de preguntas en relación con el tema de los ácidos y las bases. Películas documentales acompañadas de dos tipos de comentarios han sido utilizadas con 12 alumnos de 1º de Bachillerato opción Científica en el momento de la elaboración de sus respuestas por escrito. Nos ha parecido que, en sus respuestas, los alumnos utilizan mejor y con más frecuencia cierto tipo de comentario cuyas características analizamos aquí.

Palabras clave: película documental, química, conocimientos, percible, reconstruido, imagen, comentario de acompañamiento.

Zusammenfassung

Diese Arbeit ermöglicht es, den Einfluss zu bestimmen, den die die Bilder von Chemielehrfilmen begleitenden Kommentare auf die Arbeitsweise der

Schüler und auf den Bau von Verbindungen zwischen den zur Beantwortung von Fragen über das Thema der Säuren und Laugen notwendigen Begriffe ausüben können. Lehrfilme mit zwei Arten von didaktischen Begleitkommentaren wurden von 12 Schülern der 11. Klasse des naturwissenschaftlichen Zweiges bei der Abfassung ihrer schriftlichen Antworten benutzt. Wir haben herausgefunden, dass die Schüler in ihren Antworten einen bestimmten Typ von Kommentaren besser und häufiger benutzten und wir haben die typischen Merkmale dieser Kommentare untersucht.

Schlüsselwörter: *Lehrfilm, Chemie, Kenntnisse, wahrnehmbar, rekonstruiert und wieder aufgebaut, Bilder eines Films, didaktischer Begleitkommentar.*

1. INTRODUCTION

L'utilisation de films de chimie à visée didactique souffre d'une contradiction surprenante puisque bien qu'utilisés depuis longtemps en situation scolaire ou universitaire (Slabaugh & Hatch, 1958 ; Pekdağ & Le Maréchal, 2005a, soumis) peu de travaux de recherche décrivent l'analyse de leur contenu (Jacquinot, 1977, p. 21 ; Aumont & Marie, 1988) ou le fonctionnement cognitif des élèves qui les regardent (Pekdağ, 2005). L'enjeu est pourtant important puisque les fonctions de répétition, de stockage et de démultiplication de l'information contenue dans un film en font un auxiliaire pédagogique précieux (Jacquinot, 1977, p. 152). De plus, dans le contexte de la chimie la possibilité d'utiliser un film permet de mieux montrer ce qui se passe lors d'une réaction à l'aide de gros plans (Jacobsen & Moore, 1997), de pouvoir revoir *ad libitum* le phénomène intéressant (Smith, 1974), de montrer des réactions dangereuses, coûteuses ou délicates (Fortman & Battino, 1990). Une question relative à la sonorisation des images se pose : quel commentaire doit accompagner les images et quel effet produit-il sur la mémorisation ou la réutilisation des informations présentes dans un film ? La question ne semble même n'avoir jamais été posée, peut-être à cause de la difficulté de mettre en œuvre une méthodologie de recherche adaptée (Tricot, 1993). Nous avons exploré de telles questions dans un cadre constructiviste (Lavery & McGarvey, 1991 ; Duit & Treagust, 1998) en posant des questions à des élèves qui utilisent une banque de films de chimie. Nous allons voir dans cet article comment ces élèves utilisent des films dans le contexte d'une expérimentation hors classe d'élèves de première S dans le domaine des acides et des bases en chimie.

2. CADRE THÉORIQUE

Notre approche didactique de la manière dont les élèves utilisent un film nous a conduits à articuler deux axes théoriques, l'un relatif à la catégorisation des connaissances que l'on peut faire intervenir dans un film de chimie, et l'autre sur la façon dont des élèves peuvent utiliser ses connaissances.

2.1. Catégorisation des connaissances en chimie

Selon une approche constructiviste largement partagée, les élèves s'approprient les concepts de la physique ou de la chimie à partir d'une activité de modélisation, c'est-à-dire s'ils mettent en relation différents types de connaissances : celles relatives aux objets et celles relatives aux modèles (Tiberghien, 1994). En chimie, il est approprié de distinguer, au sein des modèles, les connaissances relatives aux atomes, aux molécules, etc. ; ces derniers ont un statut d'objets appelés ici objets reconstruits, par oppositions aux objets perceptibles. Ainsi, notre catégorisation des connaissances considère les objets, les événements et les propriétés du monde perceptible séparément de ceux du monde reconstruit (Le Maréchal, 1999 ; Pekdağ & Le Maréchal, 2003a). Une réaction chimique, par exemple, sera un événement reconstruit et la faculté que possède une molécule de libérer un ion H^+ sera une propriété reconstruite. Nous avons fait le choix de décrire, avec ces catégories, les informations présentes dans un film et les connaissances que l'on repère dans les interactions entre apprenants. L'intérêt d'une telle description apparaît dans l'écriture des commentaires des films qui peuvent emprunter un vocabulaire de type plutôt « perceptible » ou plutôt « reconstruit ».

La catégorie des éléments liés au monde perceptible comprend les objets, les événements et les propriétés associés à des observations dans des situations expérimentales ou des situations de la vie quotidienne. Dans le cadre de la chimie, ces objets sont les liquides manipulés, la verrerie, etc. Les *objets perceptibles* peuvent être décrits par une relation entre un signifié, un signifiant, et une référence (Vergnaud, 1990). Les *événements perceptibles* correspondent à ce qui arrive aux objets perceptibles, comme le tube chauffé ou le liquide qui change de couleur. Les propriétés perceptibles aident à décrire ce qui est observé ; par exemple la couleur, le fait qu'un objet soit froid ou chaud...

La catégorie liée au monde reconstruit est produite par l'activité cognitive des chimistes qui décrivent la matière et ses transformations à l'aide d'un monde microscopique ou avec des concepts macroscopiques tels que corps pur, gaz parfait, etc. Cette catégorie de connaissances est structurable comme le monde perceptible. Elle comprend les objets, les événements et les propriétés associées à des interprétations, à des explications ou à des

prédictions d'une personne à propos de ce qu'elle a observé dans des situations expérimentales.

- Les *objets reconstruits* sont les « objets » qui ont un signifié et un signifiant, mais pas de référent concret empirique (Sallaberry, 2000). Une molécule, par exemple, est un objet reconstruit. Son signifié peut être défini comme la sous-division ultime d'une substance qu'elle représente. Un signifiant peut être sa formule, une fonction d'onde, etc. En revanche, il n'y a pas de référent concret empirique qui montre cette molécule. De tels objets appartiennent à des modèles, mais, à l'instar des chimistes, il nous a semblé pertinent pour notre étude de leur donner un statut d'objet.

- Les *événements reconstruits* correspondent à ce qui arrive aux objets reconstruits. La déformation ou la dissociation d'une molécule sont des événements reconstruits.

- On peut considérer les *propriétés* des objets et des événements reconstruits, ce qui constitue une autre catégorie de connaissance comme par exemple : l'objet reconstruit « molécule d'ammoniac » est constitué de quatre atomes, l'événement reconstruit « transfert d'ion H^+ » est réversible, etc.

2.2. Modes de fonctionnement des élèves

Un certain nombre de modes de fonctionnement des élèves utilisant des sources d'information a déjà été décrit :

- *Utilisation des mots des commentaires et des images des films.*

L'utilisation de type « copier-coller » (Roussey et al., 2001) ou par prises de notes (Kiewra et al., 1991) d'informations d'un texte ou plus largement d'un hypermédia a déjà été décrite. La construction de la méthodologie prendra en compte cette possibilité afin de minimiser le fonctionnement en copier-coller décrit comme favorisant peu l'apprentissage (Le Diouris, 2000) et de permettre la prises de note qui semble au contraire un facteur favorable.

- *Interprétation des images des films.*

Selon Joly (1994), « une image peut fournir un grand nombre (poly) d'informations (sémies) visuelles. Ainsi, elle va avoir de multiples significations et se prêter à de multiples interprétations (p. 81) ». Peraya (1994) considère que chaque élément de l'image peut jouer un rôle déterminant dans la formation des trajets associatifs qui constituent son sens global, et c'est sans doute là l'origine de la polysémie de l'image. Cette dernière apparaît comme un signe « vide » que le lecteur peut remplir à sa guise parce qu'elle est une simple projection subjective, elle supporte et même favorise l'ambiguïté. Autrement dit, la polysémie naît de la richesse des parcours associatifs que génère le lecteur. Nous avons donc considéré qu'interpréter les images d'un film de chimie, en leur donnant un sens personnel, était un mode possible de fonctionnement des élèves.

3. QUESTIONS ET HYPOTHÈSE DE RECHERCHE

Nous avons cherché à comprendre comment des élèves utilisent des films de chimie lorsqu'ils sont questionnés. Nous nous sommes ainsi intéressés aux questions suivantes :

- a) Quelle trace de l'utilisation des films trouve-t-on dans la réponse à une question posée aux élèves ?
- b) Peut-on décrire le fonctionnement des élèves qui disposent d'une banque de films pour répondre à des questions de chimie avec les seuls modes : utiliser les mots du commentaire du film ; utiliser l'image du film, interpréter l'image du film, utiliser l'idée du film, ou sans utiliser le film ?
- c) Quelle est l'influence du caractère perceptible (P) ou reconstruit (R) des commentaires d'un film sur le fonctionnement des élèves et sur leurs réponses aux questions posées par la tâche ?

Pour répondre à ces questions de recherche, nous formulons l'hypothèse que les paramètres didactiques essentiels pour le fonctionnement cognitif d'un apprenant qui consulte un film sont, d'une part la façon dont les connaissances sont représentées dans le film (par les images et dans les commentaires) et, d'autre part, les relations entre ces connaissances.

4. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie présente la méthode de recueil des données puis décrit leur analyse.

4.1. Méthode de recueil des données

Pour répondre aux questions de recherche, nous avons construit deux banques de films qui ont été structurés au sein de ce que nous allons appeler un hyperfilm (l'un R l'autre P) et conçu une situation qui les met en jeu.

Type de films et structure de l'hyperfilm

Différents types de films à visées didactiques utilisés en télévision scolaire ont été décrits par Jacquinot (1977) qui distingue les documentaires (ils informent plus qu'ils n'instruisent), les films scientifiques et techniques (où « l'intention didactique disparaît le plus souvent sous la spécialisation du contenu »), les classes filmées, les émissions débats ou table ronde, les films d'expérience, les dramatisations, les reconstitutions fictionnelles (historiques, imaginaires...), etc. Les films considérés dans cette énumération délivrent un message plus riche et plus structuré que chacun des films que nous avons

réalisé. L'originalité de nos hyperfilms tient à l'articulation de films courts (1 à 4 min – voir Annexe I) traitant chacun d'une idée soit sous forme d'expérience de laboratoire, d'illustration d'un concept, d'animation montrant la représentation à l'échelle microscopique d'un événement reconstruit, etc. La structure de l'hypermédia laisse l'utilisateur articuler ces films suivant ses besoins et à son rythme.

Du point de vue de sa structure, l'hyperfilm est constitué de deux dispositifs d'accès aux films : (i) soit par une série de liens permettant de trouver un film par une suite de thèmes (acides / bases / couples acide-base), de sous-thèmes et de sous-sous-thèmes (voir Annexe II) ; (ii) soit par un lien relatif à un des concepts mis en jeu dans un film. Dans le second cas, des liens sont proposés sur la même page écran qu'un film. Chacun de ces liens porte le nom d'un des concepts présents dans ce film et renvoie à la liste des films qui utilisent également ce concept. Le choix d'un film est donc dans ce cas guidé d'abord par un concept sur lequel on s'interroge puis par des noms de films (Pekdağ & Le Maréchal, 2003b). Lors de l'utilisation d'un hyperfilm, toutes les fonctions habituelles d'un magnétoscope (pause, arrêt, retour au début, etc.) restent accessibles quand un film est consulté.

Les films et leur commentaire

Nous avons réalisé 34 petits films sur les acides et les bases et, pour 26 d'entre eux, deux versions du commentaire d'accompagnement ont été superposées aux images (voir la liste des films en Annexe I). Une version met l'accent sur la description de ce qui se voit à l'écran en utilisant un vocabulaire qui fait appel à des connaissances du monde perceptible (version P – voir figure 1). L'autre, que nous appelons version R, utilise autant que faire se peut un vocabulaire du monde reconstruit. Les commentaires accompagnant les images des films sont donc associés à des caractères plutôt perceptibles ou plutôt reconstruits suivant la version de l'hyperfilm. Nous étudions dans la suite l'influence de cette variable sur les réponses des élèves. Il n'a que rarement été possible de produire un commentaire utilisant des termes associés seulement à des connaissances de type perceptible (resp. seulement reconstruite), d'où la précaution « plutôt perceptible », ou « plutôt reconstruit » contenue dans l'abréviation P ou R. De plus, cette dernière concerne les commentaires et non les images (voir Annexe III pour un exemple analysé). Nous n'avons pas fait apparaître le commentaire du film sur l'écran pour éviter que les élèves ne soient tentés de le recopier et ainsi forcer à la prise de note (Kiewra *et al.*, 1991).

Il en a résulté la production de deux hypermédiats, appelés *hyperfilms*, contenant chacun 34 films (8 au commentaire commun et 26 P ou R). Ce néologisme que nous avons introduit au début de ce projet de recherche (Pekdağ & Le Maréchal, 2003b) est également utilisé sous la forme *hypermovie* dans la littérature (Melzer *et al.*, 2004).

Certains films, par leur titre ou leur contenu, évoquent superficiellement le thème des acides et des bases bien qu'ils relèvent de notions éloignées. C'est le cas des films 31 et 32 impliquant les réactions d'acides sur le magnésium et sur le zinc respectivement qui mettent en jeu des propriétés d'oxydoréduction et non d'acidobasicité. D'autres films avaient au contraire des titres éloignés des présentations acidobasiques classiques comme les numéros 12 sur l'évaporation de l'eau, 29 sur la pollution de l'air et 33 sur la respiration mais évoquaient effectivement des concepts utiles à la compréhension de réactions acidobasiques. La présence de ces films était nécessaire pour une utilisation de l'hyperfilm liée à une recherche de l'étude du choix d'un film et n'est pas développée ici (Pekdağ & Le Maréchal, 2005b ; 2005c).

Les films et leurs images

Avec une écriture filmique sobre, nos films traitent avec un petit nombre de plans d'une unique scène, voire de deux en oppositions. Différents styles ont été utilisés, essentiellement vidéos, diaporamas et animations, mais toujours avec une organisation linéaire du scénario. En dehors du commentaire du film, ni bruit ni musique n'interviennent sauf occasionnellement pour de fugitifs bruits d'expériences de laboratoire.

- Les vidéos permettent de montrer un objet ou un événement perceptible telle une expérience de chimie. Les plans, souvent longs, se succèdent alors, alternant une vue d'ensemble, plans moyens et gros plans (Annexe IV). Ces derniers permettent d'attirer l'attention sur un dégagement gazeux, un changement de couleur, l'évolution d'une valeur sur un appareil de mesure, etc. Un faible angle de plongée permet de restituer la vision habituelle que l'on a des objets de laboratoire posés sur une paillasse et les mouvements de caméra sont absents. Dans le cas d'une expérience, l'évolution du temps est montrée par une succession de plans montrant l'événement étudié à différents instants.
- Les animations sont précieuses pour représenter le monde reconstruit.
- Les diaporamas permettent de montrer des données (tableau, photo, etc.).

Le montage des films a été réalisé en ajustant la longueur des plans à celle des commentaires dont l'importance est essentielle dans notre étude. Des incrustations de textes sous forme de quelques mots ou symboles ont été réalisées quand elles permettaient d'éclairer la compréhension des images, par exemple en identifiant des objets ou des systèmes chimiques.

Exemple de films P et R

Une animation basée sur l'image de la Fig. 1 représentait la dissociation des molécules HCl dans l'eau. Deux commentaires ont été rédigés pour accompagner ce passage, l'un P, utilise les termes d'assemblages de boules

vertes et blanches et l'autre R qui décrit la même animation en termes de molécules HCl et d'ions H⁺ et Cl⁻. On notera que bien que l'image évoque des objets reconstruits, puisqu'il s'agit du point de vue de la chimie d'ions en solution, ce qui importe pour l'analyse R/P se base sur les termes utilisés dans le commentaire du film.

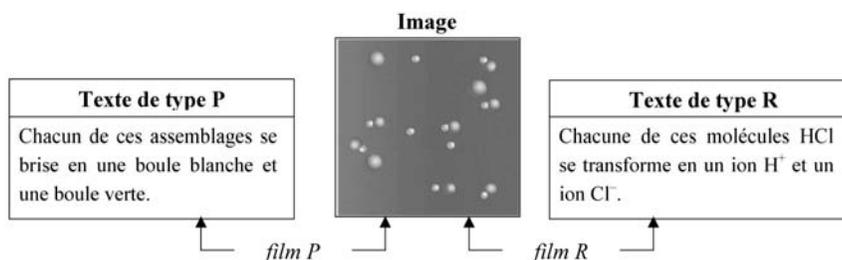


Figure 1 • Extrait du film n° 9 : Dissociation – animation microscopique (versions P et R)

Échantillon d'élèves

Douze élèves de première scientifique (16-17 ans) ont été impliqués dans cette expérimentation basée sur l'acidobasicité. Leurs connaissances de ce domaine de la chimie reposaient principalement sur l'enseignement reçu en classe quelques mois auparavant dans le cadre normal du programme de première scientifique. Leur nom a été transformé.

Ces élèves ont été mis par binôme devant un hyperfilm (P ou R). Après un court apprentissage de l'utilisation de l'hyperfilm par le chercheur, les élèves ont eu toute liberté de naviguer dans l'hyperfilm. Trois binômes ont travaillé avec l'hyperfilm P et autant avec le R. Une série de questions (voir le texte de la tâche en Annexe V) a incité les élèves à consulter certains films pour en retirer des informations nécessaires à leurs réponses. Le choix des films et le rythme d'utilisation des boutons lecture/pause ont été laissés à l'appréciation des élèves afin d'optimiser leur compréhension des notions abordées (Astolfi, 1989). Les binômes d'élèves ont été filmés de manière à voir l'écran de l'ordinateur. Leurs productions écrites ont été ramassées puis exploitées pour comprendre comment les élèves utilisent les films.

Questions posées aux élèves

Onze questions (liste en Annexe V) ont été posées aux élèves en même temps que leur était présenté l'hyperfilm. Elles avaient un caractère général et leurs réponses, bien que non directement présentes dans les films, pouvaient être étayées par des informations présentes dans les images

ou leurs commentaires. En partie II de la tâche, la question nécessitait l'analyse des événements qui se déroulent pendant un film. Il pouvait y être répondu soit par une connaissance fine des notions sur les réactions acido-basiques que les élèves étaient susceptibles de connaître grâce à l'enseignement qu'ils avaient reçu, soit à partir d'informations présentes par ailleurs dans l'hyperfilm.

4.2. Méthode d'analyse

Flow maps

Nous avons basé l'analyse des réponses écrites sur une technique apparentée aux *flow maps*, littéralement : carte du flux (du vocabulaire/des idées). De telles cartes permettent de représenter l'enchaînement du vocabulaire présent dans un récit avec leurs relations (Anderson & Demetrius, 1993). Dans notre cas, pour chaque question soumise aux élèves, une *flow map* a été construite a priori à partir du savoir enseigné. Elle a été augmentée des termes trouvés dans les réponses écrites des élèves que notre analyse *a priori* n'avait pas anticipé. Le savoir enseigné considéré a été celui présent dans le programme officiel et dans le manuel utilisé par les élèves (Micromega®, 2001). Chaque enchaînement de termes trouvé dans les réponses de ces derniers est traduit par un lien dans la carte et a été arbitrairement numéroté par commodité. Par construction, ces cartes rassemblent donc tous les termes et leurs relations que les élèves peuvent produire dans leurs réponses. On y trouve donc bien plus que la ou les réponses possibles.

Par exemple, la figure 2 montre la *flow map* construite pour la question « *L'éthanoate de sodium (ou acétate de sodium) est une poudre blanche soluble dans l'eau. Que signifie cette phrase pour vous ?* ». Une réponse acceptable à cette question pourrait être : « L'éthanoate de sodium introduit dans l'eau s'y dissout en donnant une solution aqueuse ionique ». Elle utiliserait les liens 3a, 3b, 7 et 10, mais plus d'informations pourraient être données dans la réponse s'il était fait référence à la réaction chimique de dissolution, aux formules des ions, etc. Notre intérêt pour ce type d'analyse résulte dans la possibilité de dénombrer les informations éventuellement trouvées dans les films consultés par les élèves, en ne conservant que celles qui s'articulent dans le cadre de la réponse attendue, et qui par là prennent sens. En effet, par rapport aux traditionnelles cartes conceptuelles fournissant des réseaux sémantiques qui se veulent transposables d'un contexte à un autre (Novak, 1984, 1990 ; Wandersee, 1990 ; Jacobi *et al.*, 1994) ; les *flow maps* conservent la trace de l'organisation des idées dans le discours étudié (Anderson *et al.*, 2001).

Présentation de la grille d'analyse de l'utilisation des films

Une grille d'analyse (tableau 1) a également été utilisée pour analyser les réponses écrites des douze élèves dans le cas de chaque question de la tâche. Le contenu des colonnes du tableau est décrit ci-dessous. Comme il n'est pas simple de donner une définition générale d'une unité d'utilisation du film, nous avons listé des différents types d'utilisation au sein de chacun desquels il est possible de comprendre comment on peut les dénombrer.

1. La première colonne de cette grille indique les noms des élèves qui répondent à une question posée.

2. La deuxième colonne reprend leurs productions écrites.

3. La troisième colonne indique le type d'utilisation du film par les élèves lors de leur réponse :

- *Utilisation de mots du commentaire du film* – Ces mots sont en gras dans le tableau 1. On comptabilise chaque phrase utilisée d'un film comme une connaissance.

- *Utilisation de l'image du film* – Il s'agit de l'utilisation par l'élève d'une information avec la même représentation sémiotique (Duval, 1995) que celle de l'image du film (langage naturel/mots, représentations iconiques/boules, représentations symboliques/formules chimiques ou équations chimiques). Les informations utilisées par les élèves sont en italique dans notre grille d'analyse.

- *Interprétation de l'image du film* – Un tel fonctionnement a été décrété quand l'élève donne du sens à l'image du film en utilisant des mots différents de ceux du commentaire du film. Elle est repérée par un souligné dans le tableau 3.

- *Utilisation de l'idée du film* – Cela correspond à l'utilisation par l'élève d'une idée du film dans un nouveau contexte et avec des nouveaux mots.

- *Sans utilisation du film* – Cela correspond à la construction d'une réponse écrite à partir des connaissances préalables des élèves, non présentes dans les films consultés.

4. Dans la quatrième colonne, le type du film duquel l'élève utilise une information dans sa production écrite est présent : film dont le commentaire utilise plus particulièrement des termes du monde perceptible (respect. reconstruit), FP (respect. FR), et film dont il n'existe qu'un commentaire commun, FC. Cela contribue à répondre à une de nos questions de recherche sur la relation entre la nature P/R d'un film et son utilisation.

5. La cinquième colonne indique le numéro de lien des *flow maps*.

6. La sixième colonne indique le nombre L de liens apparus. Pour tenter de comprendre l'influence des films sur le fonctionnement cognitif des élèves, nous avons relevé les relations entre les films consultés par les élèves et les liens apparus entre les termes utilisés. Nous avons pour cela utilisé dans cette colonne les codes suivants :

- L_m : L est un nombre de lien et m indique qu'ils sont construits par « *utilisation de mots du commentaire du film* ».

- *Li* : *L* liens sont construits par « utilisation de l'image du film ».
- *Ln* : *L* liens sont construits par « interprétation de l'image du film ».
- *Ld* : *L* liens sont construits par « utilisation de l'idée du film ».
- *Ls* : *L* liens sont construits « sans utilisation du film ».

De plus, si un lien est construit par l'élève en utilisant deux types de réponse on reporte dans la 6^e colonne, par exemple, $0,5m + 0,5i$ qui signifie « utilisation des mots du commentaire » et « utilisation de l'image du film ».

7. Dans la dernière colonne, nous avons indiqué, le cas échéant, le cas échéant, le concept utilisé par l'élève et celui que nous avons considéré comme sémantiquement proche, présent dans le commentaire accompagnant le film.

Exemples d'utilisation de la méthode d'analyse

Les exemples fournis ci-dessous illustrent (1) un cas d'utilisation du commentaire d'un film, puis (2) d'une image du film et enfin (3) d'interprétation d'une image. Une telle dichotomie entre le commentaire et l'image est justifiée par le fait qu'il semble acquis que l'être humain possède des systèmes distincts de traitement de l'information visuelle et verbale (Paivio, 1986 ; Clark & Paivio, 1991 ; Baddeley, 1992, 1998).

• Exemple d'analyse d'une utilisation du commentaire d'un film

Le tableau 1 donne l'exemple de l'analyse de la question 1 de la partie I : « L'éthanoate de sodium (ou acétate de sodium) est une poudre blanche soluble dans l'eau. Que signifie cette phrase pour vous ? ».

Binôme	Réponse écrite	Fonct. des élèves	Type de film	Liens de la flow map	Nombre de liens	Différences
Marie – Barthélemy	L'éthanoate de sodium peut se mélanger à l'eau	sans utiliser le film	—	3a ; 3b	2s	se mélanger / se dissoudre
Pascal – Ahlem	L'éthanoate de sodium se dissout dans l'eau. Donc au contact de l'eau, une nouvelle espèce chimique est formée (avant de voir le film). Lors de la dissolution, des nouveaux ions sont formés. Donc la solution formée est ionique (après avoir vu le film).	utilisation des mots du commentaire du film 22	R	3a ; 3b ; 4 ; 10	2s + 2m soit 4 liens	formation d'ions / réaction chimique solution / solution aqueuse

Tableau 1 • Exemples d'utilisation de la grille d'analyse dans le cas de la question « L'éthanoate de sodium (ou acétate de sodium) est une poudre blanche soluble dans l'eau. Que signifie cette phrase pour vous ? ». On note qu'une partie de la réponse a été écrite avant de consulter un film et une autre après.

Le tableau 1 indique que Marie et Barthélemy ont construit deux liens (3a et 3b) de la flow map (voir Fig. 2) sans utiliser de film (2s). Il indique

également que Pascal et Ahlem ont construit les liens 3a et 3b sans utiliser le film (2s), ainsi que les liens 4 et 10 de cette *flow map* en utilisant les mots qui se trouvent dans le commentaire du film n° 22 (2m).

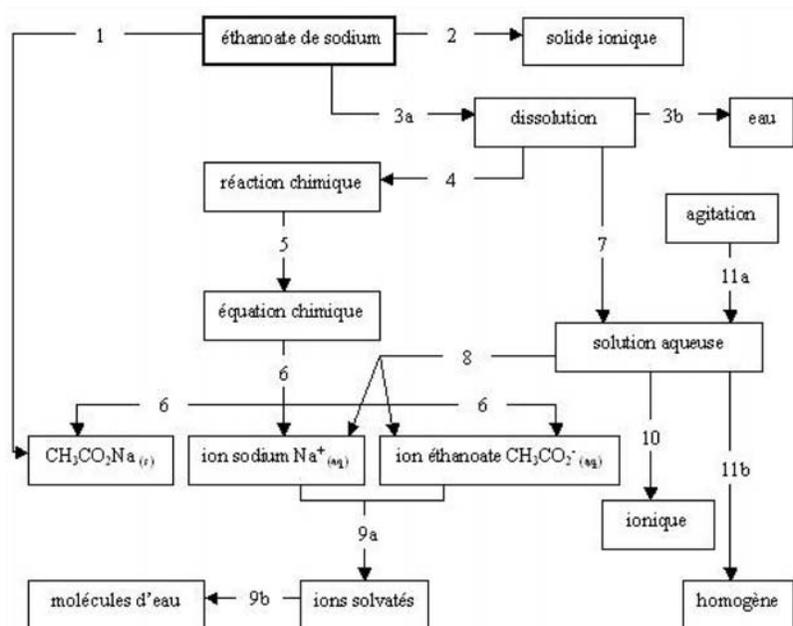


Figure 2 • *Flow map* relative à la question « L'éthanoate de sodium (ou acétate de sodium) est une poudre blanche soluble dans l'eau. Que signifie cette phrase pour vous ? »

• Exemple d'analyse d'une utilisation d'une image d'un film

L'exemple du tableau 2 concerne la question 2 de la partie I (Annexe V) : « Comment peut-on représenter ce qui se passe en solution quand on ajoute de l'éthanoate de sodium dans de l'eau pure ? ».

Binôme	Réponse écrite	Mode de fonctionnement des élèves	Type de film	Nombre de liens
Sylvain – Aurore		Utilisation des images des films 8 et 9	FP ; FP	01

Tableau 2 • Extrait d'une réponse d'élève et exemple d'analyse faisant apparaître l'utilisation d'une image d'un film. Aucun lien n'a été construit dans ce cas.

Sylvain et Aurore ont récupéré les représentations des molécules d'acide éthanoïque et d'eau présentes dans les images des films 8 et 9 (voir Annexe I) puis ils en ont fait une synthèse en utilisant les représentations de ces molécules à partir du scénario du film 9. La construction de leur réponse écrite a été ainsi réalisée en utilisant des images de ces films. En revanche, il n'y avait pas de relation entre cette réponse écrite et la réponse attendue. Ils n'ont donc construit aucun lien de la *flow map* concernant cette question (0).

• Exemple d'analyse d'une interprétation d'une image d'un film

L'exemple du tableau 3 concerne la question 1 de la partie III : « *Que veut dire "corrosif" pour vous ?* »

Binôme	Réponse écrite	Mode de fonctionnement des élèves	Type de film	Liens de la <i>flow map</i>	Nombre de liens
Adrien – Logan	« Corrosif » signifie que ça dégrade certaines matières comme la peau ou la cellulose du papier.	Utilisation des mots du commentaire du film 2 Interprétation des images du film 2	R	2a ; 2b ; 2d	$0,5m + 2,5n$ soit 3 liens

Tableau 3 • Extrait d'une réponse d'élève et exemple d'analyse faisant apparaître l'utilisation de mots du commentaire du film et l'interprétation d'images du film.

Trois liens (2a, 2b et 2d) de la *flow map* présentée figure 3 ont été construits par les élèves en utilisant des mots « *cellulose* », « *papier* » et « *peau* » présents dans le commentaire du film n° 2 *Acide corrosif* (lien 2d) et en interprétant les images de ce film (liens 2a et 2b). Les élèves ont donné un sens personnel à l'image de ce film en utilisant leurs propres mots : « *Corrosif* » signifie que ça dégrade certaines matières. Le commentaire du film ne contient ni le mot « *dégradation* » ni le mot « *matière* », mais il parle d'une réaction chimique entre un acide et les espèces chimiques présentes dans la peau. Ainsi, les liens 2a et 2b de cette *flow map* ont été construits en interprétant l'image du film.

• Commentaires sur ces exemples

Nous faisons l'hypothèse que la présence, dans les réponses écrites des élèves de mots tels que *peau*, *cellulose* ou *papier* présents dans les commentaires des films, indique que les élèves ont emprunté ces termes au film. Nous l'étayons par le fait que sur deux des six binômes, les interactions ont été transcrites et que de tels mots ne sont jamais apparus dans le vocabulaire des élèves avant que n'ait été consulté le film correspondant.

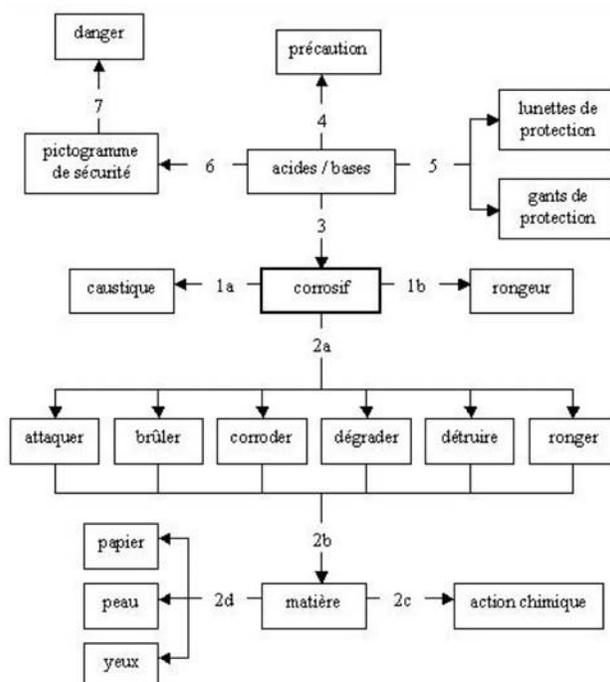


Figure 3 • *Flow map* relative à la question « **Que veut dire “corrosif” pour vous ?** »

5. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Pour chaque question de la tâche nous avons présenté les résultats obtenus en utilisant un tableau semblable au tableau 4.

Binôme	Type de film	Nombre de liens construits par les élèves					Nombre total de liens construits	Nombre total de liens dans la <i>flow map</i>
		<i>Lm</i>	<i>Li</i>	<i>Ln</i>	<i>Ld</i>	<i>Ls</i>		
Adrien – Logan	FR	0					0	14
Annie – Margot	FR				0		0	
Elise – Florence	-					3	3	
Marie – Barthélémy	-					2	2	
Pascal – Ahlem	FR	2				2	4	
Sylvain – Aurore	FP	0				2	2	

Tableau 4 • **Résultats obtenus dans le cas de la question « L'éthanoate de sodium (ou acétate de sodium) est une poudre blanche soluble dans l'eau. Que signifie cette phrase pour vous ? »**

La valeur $Lm = 0$ pour Adrien et Logan correspond à une utilisation des mots du commentaire du film qui n'a permis de construire aucun lien de la *flow map* relative à la question posée. En effet, à la question « *L'éthanoate de sodium est une poudre blanche soluble dans l'eau. Que signifie cette phrase pour vous ?* », ils ont répondu par un extrait du film n° 8 R *Dissociation de HCl et CH₃CO₂H* : « *On peut penser que l'éthanoate de sodium libère un ion H⁺* » qui n'est pas appropriée pour cette réponse.

Les nombres d'utilisations de films et de liens construits par les 12 élèves se présentent comme sur la figure 4 et les tableaux 5 et 6 fournissent l'essentiel des données résultant de l'analyse. Un tableau plus complet est présenté dans l'annexe VI.

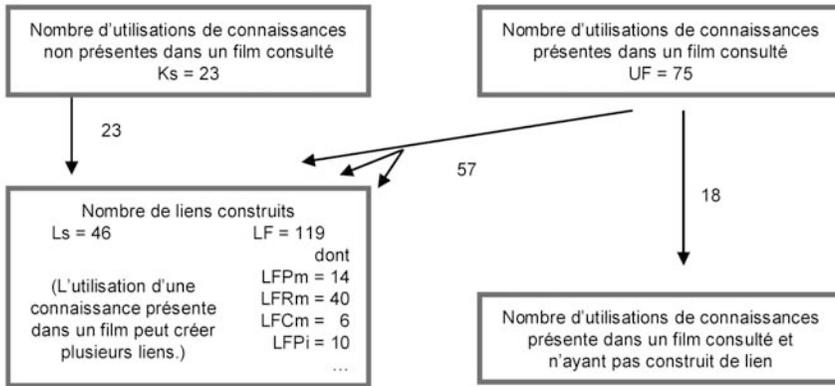


Figure 4 • **Synoptique de l'utilisation des connaissances utilisées pour répondre aux questions. Le nom des variables se décode ainsi : K = connaissance, U = utilisation, F = film, P = perceptible, R = reconstruit, C = commun, L = lien, s, m et i sont définis dans le paragraphe de présentation de la grille**

	<i>m</i>	<i>i</i>	<i>n</i>	<i>d</i>	<i>Total</i>
UFP ^c + UFP ⁿ	10 + 4	5 + 2	4 + 1	1 + 2	20 + 9 = 29
UFR ^c + UFR ⁿ	19 + 2	9 + 1	4 + 2	1 + 0	33 + 5 = 38
UFC ^c + UFC ⁿ	3 + 2	1 + 1	0 + 0	0 + 1	4 + 4 = 8
Total	32 + 8 = 40	15 + 4 = 19	8 + 3 = 11	2 + 3 = 5	57 + 18 = 75

Tableau 5 • **Nombres d'utilisations de connaissances (N= 75) présentes dans les films consultés qui permettent ou non de construire des liens. Dans chaque case, le premier nombre par exemple UFP^c = 10 est le nombre d'utilisations de connaissances qui conduit à la construction d'un lien, et le second, par exemple UFPⁿ = 4, n'a pas permis de construction. De plus, *m* = utilisation de mots du commentaire du film ; *i* = utilisation de l'image du film ; *n* = interprétation de l'image du film ; *d* = utilisation de l'idée du film ; *s* = sans utilisation du film.**

	<i>m</i>	<i>i</i>	<i>n</i>	<i>d</i>	Total
LFP	14	10	7	5	36
LFR	40	24	8	4	76
LFC	6	1	0	0	7
Ls	–	–	–	–	46

Tableau 6 • Nombres L de liens construits (N= 165) par l'ensemble des élèves suivant le type P, R ou C d'un film consulté et suivant le mode (m, i, n, d) d'utilisation de l'information. Ls est le nombre de liens construits sans utiliser de connaissance présente dans un film consulté. De plus, *m* = utilisation de mots du commentaire du film ; *i* = utilisation de l'image du film ; *n* = interprétation de l'image du film ; *d* = utilisation de l'idée du film.

Les résultats des tableaux 5 et 6 sont discutés dans la suite de cette partie d'abord de façon globale puis ensuite de plus en plus détaillés.

5.1. Relation entre les nombres d'utilisations de films et les types de films

La figure 5 reprend les données du tableau 5 en regroupant celles relatives aux films P, R et C. Elle montre que les élèves utilisent plus de connaissances présentes dans les films consultés (UF = 75) que de connaissances non présentes dans un film consulté (Ks = 23, fig 4). Dans certains cas, il s'agit d'une réponse aux sollicitations des questions de la tâche (Annexe V), mais dans de nombreux cas, la consultation de films est spontanée. En plus, du fait qu'un contrat implicite gérait cette expérimentation utilisant un hyperfilm (et donc qu'il fallait bien s'en servir), on peut remarquer que (i) les questions étaient sciemment posées dans un style différent (plus ouvertes, admettant plusieurs réponses, sans calculs) de celles rencontrées habituellement dans les exercices scolaires et (ii) plusieurs mois s'étaient écoulés entre l'enseignement des acides et des bases en classe et cette expérimentation. Le besoin de réactiver ses connaissances sur ce thème était peut-être aussi grand que celui de trouver des informations pouvant permettre de répondre aux questions.

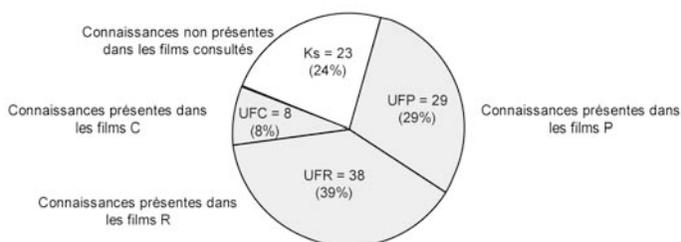


Figure 5 • Origine des N = 98 connaissances utilisées par les 12 élèves

Les films R sont plus utilisés que les films P : on retrouve en effet des formulations qui en sont issues dans 39 % des phrases analysées contre seulement 29 % dans le cas des films P. Les 39 % d'utilisation de films R correspondent à $21 + 10 + 6 + 1 = 38$ phrases sur 98 et les 29 % d'utilisation de films P à $14 + 7 + 5 + 3 = 29$ phrases. On peut s'interroger sur la signification qui peut être donnée à cette différence.

Outre le nombre modeste d'élèves ayant pris part à l'expérimentation, le choix des films est également un facteur d'influence de cette différence. En ce qui concerne les élèves, nous avons pris soin de choisir deux populations qui avaient le même profil (même niveau scolaire, même classe, même professeur). En ce qui concerne le choix des films, nous avons varié au mieux leur style et les sujets abordés (Annexe I).

Les 24 % seulement de réponses ($K_s = 23$ dans la figure 5) n'ayant pas utilisé les films sont en accord avec le fait que cette recherche a été positionnée après un enseignement sur le sujet et que les élèves n'avaient pas à découvrir le sujet des acides et des bases.

5.2. Relation entre les nombres de liens construits et l'utilisation des films

Les données des tableaux 5 et 6 montrent que non seulement les connaissances des films R sont plus utilisées, mais qu'elles sont impliquées dans une plus grande construction de liens (Fig.6a). En effet, il apparaît sur la figure 6a que 46 % des 165 liens établis dans les discours analysés l'ont été à partir des films R contre seulement 22 % dans le cas des films P. Les 46 % proviennent de $LFR = 40 + 24 + 8 + 4 = 76$, et les 22 % de $LFP = 14 + 10 + 7 + 5 = 36$.

A partir des données du tableau 5, nous avons obtenu la figure 6b. Elle montre que les phrases qui permettent la construction des liens sont plus présentes dans les films R ($UFR^c = 19 + 9 + 4 + 1 = 33$ sur 98 soit 34 %), que des films P ($UFP^c = 10 + 5 + 4 + 1 = 20$ sur 98 soit 20 %). On pourrait rétorquer à ces résultats que les questions posées requéraient des réponses de type R et non P. D'une part, il faut avoir présent à l'esprit que les films P et R véhiculent les mêmes idées (mêmes images et commentaires qui expriment les mêmes idées, mais avec des mots différents P vs. R – voir l'exemple de l'annexe III) et d'autre part, la figure 6b montre également qu'un plus grand nombre de phrases n'ayant pas permis de construire de lien (phrases incorrectes) proviennent des films P ($UFP^n = 4 + 2 + 1 + 2 = 9$ sur 29 soit 31 %) contre seulement 5 ($UFR^n = 2 + 1 + 2 + 0 = 5$) sur 38 pour les films R (13 %). Nous en concluons que les connaissances présentes dans les films R ont été plus et mieux utilisées que celles des films P.

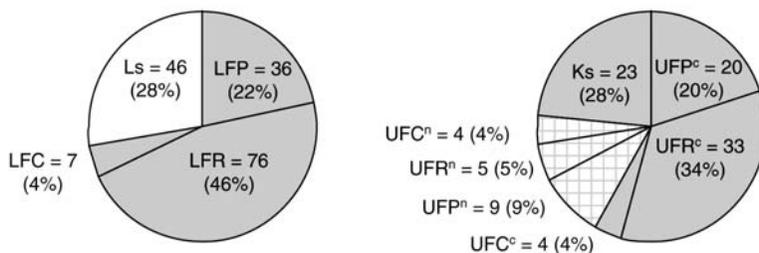


Figure 6 • (a) Nombres de liens construits par les 12 élèves avec (LFP, LFR, LFC) et sans (Ls) l'utilisation de films (N = 165, à gauche). (b) Nombres d'utilisations de films qui permettent (secteurs grisés) ou non (secteurs carrelés) de construire des liens (N = 98, à droite). Les noms de variables se décodent ainsi : L = lien, Ks = connaissances non présentes dans les films consultés, U = utilisation, F = film, P = perceptible, R = reconstruit, C = commun, l'exposant c = indique qu'il y a eu construction d'un lien et l'exposant n qu'il n'y en n'a pas eu.

5.3. Modes de fonctionnement des élèves

Le tableau 5 permet également de montrer que, pour répondre aux questions, les élèves utilisent majoritairement des mots des commentaires des films ($m = 40$ sur 75 soit 53 %), voir figure 7. Les images du film sont abondamment réutilisées ($i = 19$ sur 75 soit 25 %). L'interprétation des images du film (n) et la réutilisation des idées véhiculées (d) par le film est moins fréquente (15 % et 7 % resp.) sans être absente. La méthode utilisée pour cette recherche est partiellement responsable de ces types de fonctionnement. Les élèves commandaient l'avancement du film à leur rythme et avaient le temps de prendre des notes. Dans le cas d'une utilisation pilotée par un professeur en classe, les élèves ne pourraient pas mémoriser les phrases utilisées dans le commentaire du film, et devraient les reconstruire, ce que nous traduirions avec notre catégorie comme une utilisation des images ou des idées. Cette modalité d'utilisation du film que nous avons vue est donc susceptible d'apparaître dans d'autres utilisations de films que celles contraintes par notre méthode de recueil des données.

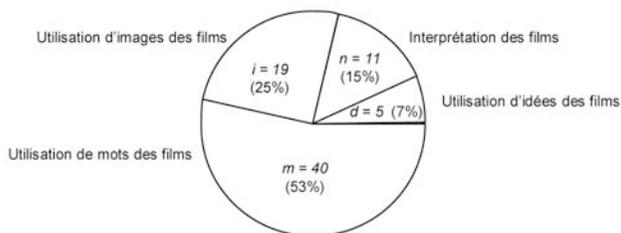


Figure 7 • Mode d'utilisation des films (N = 75)

5.4. Relation entre les réponses des élèves, les nombres d'utilisations de films et les liens construits

La question est ici de comprendre l'influence du caractère P ou R d'un film sur le processus de réponse aux questions posées, et plus précisément sur le nombre de liens qu'un film vu par les élèves permet de construire.

En prenant en compte les utilisations des mots des films (Tableaux 5 et 6) :

- 10 des 14 utilisations des films P ont permis de construire 14 liens.
- 19 des 21 utilisations des films R ont permis de construire 40 liens.

Cela apparaît dans les colonnes m du tableau 5 ($UFPm^c = 10$ et $UFPm^n = 4$) et du tableau 6 ($LFPm = 14$), et dans la ligne suivante ($UFRm^c = 19$ et $UFRm^n = 2$) et ($LFRm = 40$).

On constate de même, en prenant en compte les utilisations des images (i) des films :

- 5 des 7 utilisations des films P ($UFPi^c$) ont permis de construire $LFPi = 10$ liens.
- 9 des 10 utilisations des films R ($UFRi^c$) ont permis de construire $LFRi = 24$ liens.

Ces données permettent de penser que les connaissances reconstruites véhiculées par le commentaire d'un film permettent d'articuler ses images et son commentaire de façon plus efficace que des connaissances perceptibles. Ces dernières collent plus au commentaire et délivre un message qui ne lui est pas complémentaire. Un film R engendre donc probablement une meilleure construction de connaissances chez l'élève puisque l'important n'est pas de se limiter à apporter de l'information à l'élève, mais également de la lui faire manipuler d'une façon qui fasse sens (Mayer & Moreno, 2002).

6. IMPLICATION POUR L'ENSEIGNEMENT ET CONCLUSION

Ces résultats ont été obtenus en proposant la consultation de films de chimie à des élèves tout en leur posant des questions faisant essentiellement appel à des notions conceptuelles. Nous n'avons pas envisagé de questions mettant en jeu des applications numériques, des lois physico-chimiques, des mécanismes de chimie organique, etc. qui font également partie des questions que l'on rencontre pourtant dans l'enseignement de la chimie. L'équivalence entre les capacités à répondre à des questions et la compréhension conceptuelle de la chimie a d'ailleurs été réfutée (Nurrenbern & Pickering, 1987). Aucun algorithme (Bodner, 1987) n'était requis pour répondre aux questions posées. Nous nous sommes intéressés à détecter la trace de l'utilisation des films en cherchant à repérer les connaissances présentes dans les films et

celles utilisées par les élèves. Une part importante des connaissances apparaissant dans les réponses est présente dans les films. Nous pouvons donc dire avec confiance que la relation entre le film et le fonctionnement des élèves lors des réponses aux questions est forte puisque certaines connaissances utilisées sont des images des films dont les élèves n'ont pu disposer autrement. Il en est probablement de même pour les autres connaissances supportées, elles, par des mots dans les commentaires des films.

Les *flow maps* ont permis d'analyser finement les réponses des élèves et de discerner les connaissances qui s'intégraient à la réponse et celles qui n'apportaient rien au raisonnement. Sur cette base nous avons pu préciser leur origine probable et constater qu'une part importante provenait des films, pour la plupart des mots de leur commentaire. C'est une condition importante pour que leur nature P ou R ait une influence. Il est remarquable que les idées du film puissent également être réutilisables par les élèves car dans le cas d'une utilisation courante de films de chimie, par exemple quand le film défile sans pouvoir être interrompu, le commentaire est bien moins accessible à l'apprenant qui doit réutiliser les idées qu'il a pu capter. L'utilisation des films dont le commentaire est de nature plutôt reconstruite a permis aux élèves de construire plus de liens que les autres, et des liens plus pertinents.

Nos résultats montrent qu'il est préférable que le commentaire du film adopte un style reconstruit, c'est-à-dire qu'il ne se limite pas à une simple description de ce qui apparaît à l'écran. Le langage de cette reconstruction apparaissant au sein d'un message mixte visuel – verbal est plus facilement assimilé et possède donc plus de chance d'être impliqué dans un transfert ultérieur. Les créateurs de films de chimie ont donc tout intérêt à commenter leur image (hypothèse du double codage), mais également à proposer un commentaire dans un style reconstruit, certes plus difficile d'accès pour l'élève, mais potentiellement plus utilisable.

Dans sa taxonomie des messages audiovisuels, Jaquinot (1977) distingue les cours enregistrés, les films pour lesquels le procès didactique est effectué par celui qui fait le document, et les films dont le message permet la construction d'un savoir (et non sa transmission) en aval par celui qui apprend. Les films scientifiques, dont les nôtres, sont de la catégorie intermédiaire et Jaquinot de préciser que celui qui reçoit ne peut qu'accepter ou rejeter le message. Il semble que la richesse des modalités d'interaction entre le film et l'apprenant soit plus complexe puisque la nature P ou R des commentaires influe sur l'utilisation de connaissances. Certes l'image pédagogique a tendance à s'écraser sur le référent (Jaquinot, 1997, p.119) mais il peut y avoir grâce au commentaire, en particulier reconstruit, une articulation entre les objets qui constituent l'image, et les connaissances de la chimie supposées émerger. L'apprenant a donc les éléments qui permettent la construction d'un savoir, comme dans les films du troisième niveau.

Les films courts comme ceux que nous avons mis en œuvre peuvent servir d'auxiliaires pédagogiques et être utilisés en cours par l'enseignant en lieu et place d'une expérience trop coûteuse, trop longue ou trop chère. Il y a lieu de penser que le commentaire du film sera rendu inaudible et remplacé par ce que l'enseignant souhaite dire. Il devra choisir entre un commentaire extemporané de nature R ou P qui n'aura pas le même effet sur l'apprentissage.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON O. R. & DEMETRIUS O. J. (1993). A flow-map method of representing cognitive structure based on respondents' narrative using science content. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, n° 8, p. 953-969.
- ANDERSON O. R., RANDLE D. & COVOTSOS T. (2001). The role of ideational networks in laboratory inquiry learning and knowledge of evolution among seventh grade students. *Science Education*, vol. 85, n° 4, p. 410-425.
- ASTOLFI J.-P. (1989). Quel(s) sens pour aides didactiques ? In A. Giordan, J.-L. Martinand & C. Souchon (Eds), *Les aides didactiques pour la culture et la formation scientifiques et techniques*. Actes des 11^{es} Journées internationales sur l'éducation scientifique (Chamonix, 24-26 janvier 1989). Paris, UF didactique des disciplines, université Paris 7, p. 41-45.
- AUMONT J. & MARIE M. (1988). *L'analyse des films*. Paris, Nathan.
- BADDELEY A. (1992). Working memory. *Science*, vol. 255, p. 556-559.
- BADDELEY A. (1998). *Human memory*. Boston, MA: Allyn and Bacon.
- BODNER G. M. (1987). The role of algorithms in teaching problem solving. *Journal of Chemical Education*, vol. 64, n° 6, p. 513-514.
- CLARK J. M. & PAIVIO A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, vol. 3, n° 3, p. 149-210.
- DUIT R. & TREAGUST D. F. (1998). Learning in science – from behaviourism towards social constructivism and beyond. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds), *International Handbook of Science Education (Part One)*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 3-25.
- DUVAL R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine : registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Bern, Peter Lang.
- FORTMAN J. J. & BATTINO R. (1990). A practical and inexpensive set of videotaped demonstrations. *Journal of Chemical Education*, vol. 67, n° 5, p. 420-421.
- JACOBI D., BOQUILLON M. & PREVOST P. (1994). Les représentations spatiales de concepts scientifiques : inventaire et diversité. *Didaskalia*, n° 5, p. 11-24.
- JACOBSEN J. J. & MOORE J. W. (1997). Chemistry Comes Alive ! Volume 1 : Abstract of Special Issue 18, a CD-ROM. *Journal of Chemical Education*, vol. 74, n° 5, p. 607-608.
- JACQUINOT G. (1977). Image et pédagogie. *Analyse sémiologique du film à intention didactique*. Paris, PUF.
- JOLY M. (1994). *L'image et les signes. Approche sémiologique de l'image fixe*. Paris, Nathan.
- KIEWRA K. A., DUBOIS N. F., CHRISTIAN D., MCSHANE A., MEYERHOFFER M. & ROSKELLEY D. (1991). Note-taking functions and techniques. *Journal of Educational Psychology*, vol. 83, n° 2, p. 240-245.
- LAVERTY D. T. & MCGARVEY J. E. B. (1991). A constructivist approach to learning. *Education in Chemistry*, vol. 28, n° 4, p. 99-102.
- LE DIOURIS L. (2000). *Conception de sites Internet et étude de leur utilisation dans différentes situations de recherche documentaire en collège et lycée*. Thèse de doctorat, université Lyon 2.

- LE MARÉCHAL J.-F. (1999). Modelling student's cognitive activity during the resolution of problems based on experimental facts in chemical education. In J. Leach & A. C. Paulsen (Eds), *Practical Work in Science Education*. Dordrecht, Kluwer, p. 195-209.
- MAYER R. E. & MORENO R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, vol. 12, n° 1, p. 107-119.
- MELZER, A., HASSE, S., JESKULKE, O., SCHÖN, I. & HERCZEG, M. (2004). The interactive and multi-protagonist film: A hypermovie on DVD. In M. Rauterberg (Ed.), *Entertainment Computing – ICEC 2004*. The Netherlands, Third International Conference Eindhoven, p. 193-203.
- NOVAK J. D. (1984). Application of advances in learning theory and the philosophy of science to the improvement of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, vol. 61, n° 7, p. 607-612.
- NOVAK J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, n° 10, p. 937-949.
- NURRENBERN S. C. & PICKERING M. (1987). Concept learning versus problem solving: Is there a difference? *Journal of Chemical Education*, vol. 64, n° 6, p. 508-510.
- PAIVIO A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- PEKDAĞ 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 Lumière Lyon 2.
- PEKDAĞ B. & LE MARÉCHAL J.-F. (2003a). Influence of the relations between picture and text of chemical education films on conceptual change. In D. Krnel (Ed), *Proceedings of the Sixth ESERA Summer-school* (Radovljica, 25-31 August 2002). Ljubljana, University of Ljubljana Press, p. 204-211.
- PEKDAĞ B. & LE MARÉCHAL J.-F. (2003b). Hyperfilm : Un outil de recherche en didactique de la chimie. In C. Desmoulin, P. Marquet & D. Bouhineau (Eds), *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Actes de la conférence EIAH (Strasbourg, 15-17 avril 2003). Paris, ATIEF et INRP, p. 547-550.
- PEKDAĞ B. & LE MARÉCHAL J.-F. (2005a). Films et multimédias dans l'enseignement de la chimie. *Didaskalia*, n° 29, à paraître.
- PEKDAĞ B. & LE MARÉCHAL J.-F. (2005b). Factors Influencing the Students' Choices of Scientific Movies. In R. Pinto & D. Couso (Eds), *Proceedings of the Fifth International ESERA Conference on Contributions of Research to Enhancing Students' Interest in Learning Science* (Barcelona, 28 August – 1 September 2005), p. 675-678.
- PEKDAĞ B. & LE MARÉCHAL J.-F. (2005c). *Memorisation of Information from Scientific Movies*. Selected papers from ESERA 2005, soumis.
- PERAYA D. (1994). *Des mots et des images*. *Journal de l'enseignement primaire*, n° 49, p. 22-25.
- ROUSSEY J.-Y., BARBIER M.-L. & PIOLAT A. (2001). Aide à la recherche d'informations sur support hypermédia et production écrite par de jeunes rédacteurs. In E. De Vries, J.-Ph. Pernin & J.-P. Peyrin (Eds), *Hypermédias et Apprentissages 5*. Actes du cinquième colloque (Grenoble, 9-11 avril 2001). Paris, INRP et EPI, p. 151-165.
- SALLABERRY J.-C. (2000). Coordination des « représentations image » et des représentations rationnelles dans la construction du concept d'élément chimique. *Didaskalia*, n° 17, p. 101-121.
- SLABAUGH W. H. & HATCH C. V. (1958). General chemistry via television. *Journal of Chemical Education*, vol. 35, n° 1, p. 95-96.
- SMITH G. W. (1974). Videotape exposition. *Journal of Chemical Education*, vol. 51, n° 1, p. 82.
- TIBERGHIEAN A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching – learning situations. *Learning and Instruction*, vol. 4, n° 1, p. 71-87.
- TRICOT A. (1993). Stratégies de navigation et stratégies d'apprentissage : Pour l'approche expérimentale d'un problème cognitif. In G.-L. Baron, J. Baudé & B. de La Passardière (Eds), *Hypermédias et Apprentissages 2*. Actes des deuxièmes journées scientifiques (Lille, 24-25 mars 1993). Paris, INRP et EPI, p. 21-37.

VERGNAUD G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 10, n° 2-3, p. 133-170.

WANDERSEE J. H. (1990). Concept mapping and the cartography of cognition. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, n° 10, p. 923-936.

Cet article a été reçu le 15/09/2005 et accepté le 27/02/2006.

ANNEXES

Annexe I – Liste, type et nature des films des hyperfilms

N°	Films constituant les hyperfilms	Nature de l'image des films	Durée (min : s) des films	
			P	et R
1	Acide conductivité	Diaporama	0 : 56	0 : 5
2	Acide corrosif	Vidéo	0 : 44	0 : 48
3	Ammoniac et chlorure d'hydrogène	Vidéo	1 : 30	1 : 30
4	Base corrosive	Diaporama	0 : 43	0 : 56
5	Basicité de la cendre	Vidéo	0 : 46	0 : 48
6	Dissociation – animation microscopique	Animation	1 : 08	0 : 56
7	Dissociation – équation	Animation	0 : 48	0 : 33
8	Dissociation de HCl et CH ₃ CO ₂ H	Diaporama	0 : 59	0 : 40
9	Dissolution – animation microscopique	Animation	1 : 16	1 : 11
10	Effet de l'addition d'un acide sur le pH	Vidéo	1 : 50	1 : 49
11	Effets des pluies acides	Diaporama	1 : 42	2 : 19
12	Évaporation de l'eau	Diaporama	0 : 34	0 : 44
13	Exemple de couple acide/base : HCO ₃ ⁻ /CO ₃ ²⁻	Animation	1 : 30	1 : 27
14	Exemple de couple acide/base : NH ₄ ⁺ /NH ₃	Animation	1 : 29	1 : 24
15	Exemples d'acides	Diaporama	1 : 10	
16	Exemples de bases	Diaporama	1 : 28	
17	Exemples de couples : NH ₄ ⁺ /NH ₃ et H ₂ O/HO ⁻	Animation	2 : 03	
18	Exemples de couples acide/base	Diaporama	1 : 43	1 : 29
19	HCl acide de Brønsted	Animation	1 : 44	1 : 25
20	H ₂ O amphotère	Animation	1 : 24	1 : 15
21	HCl et H ₃ O ⁺ acides de Brønsted	Diaporama	2 : 30	1 : 39
22	NaOH base de Brønsted	Animation	2 : 50	2 : 40
23	NH ₃ base de Brønsted	Animation	1 : 20	1 : 13
24	Notation générale des demi-équations	Animation	3 : 55	
25	pH de la solution d'ammoniac	Animation	0 : 52	0 : 50
26	pH des solutions acides	Tableau/Schéma	1 : 25	
27	pH des solutions basiques	Tableau/Diaporama	1 : 00	
28	pH du vinaigre	Animation	0 : 56	1 : 18
29	Pollution de l'air	Diaporama	1 : 8	1 : 18
30	Quantité d'ions dans différentes bases	Vidéo	1 : 33	
31	Réaction acide/magnésium	Vidéo	1 : 11	0 : 59
32	Réaction acide/zinc	Vidéo	0 : 42	0 : 45
33	Respiration	Diaporama	0 : 50	
34	Vinaigre et soude	Vidéo	1 : 16	1 : 08

(1) La colonne de gauche donne la durée des films P et celle de droite est relative aux films R. Les films C sont indiqués par une unique case.

Annexe II – Structuration des hyperfilms

La liste des titres des films classés par numéro est donnée Annexe I.

Thèmes	Sous-thèmes	Pages de choix des films
Acides (18 films)	Acides au sens de Brønsted (2 films)	(films 19 et 21)
	Acides hors du laboratoire (5 films)	acides faisant partie de notre environnement (film 15)
		acidité de la pluie (films 11, 12, 29 et 33)
	Propriétés des acides (11 films)	conduction électrique (film 1)
		danger (film 2)
		libération d'un ion H ⁺ (films 6, 7 et 8)
		pH (films 10, 26 et 28)
		réaction avec certains métaux (films 31 et 32)
réaction avec les bases (film 34)		
Bases (10 films)	Bases au sens de Brønsted (2 films)	(films 22 et 23)
	Bases hors du laboratoire (1 film)	(film 16)
	Propriétés des bases (7 films)	conduction électrique (film 30)
		danger (film 4)
		dissolution de certaines bases (film 9)
		pH (films 5, 25 et 27)
réaction avec les acides (film 3)		
Couples acide/base (6 films)	Introduction au couple acide/base (1 film)	(film 18)
	Définition du couple acide/base (2 films)	(films 13 et 14)
	Forme conjuguée (1 film)	(film 17)
	Amphotère (1 film)	(film 20)
	Demi-équation (1 film)	(film 24)

Annexe III – Exemple de commentaire d'un film en version P puis R

Les connaissances mises en jeu dans les commentaires P et R d'un même film sont analysées et codées entre parenthèse : O = objet perceptible, E = événement perceptible, P = propriété perceptible, o = objet reconstruit, é = événement reconstruit, p = propriété reconstruite.

• Version P du commentaire du film *Acide corrosif*

Les **acides (O)** sont **corrosifs (P)**, comme le montre cette expérience. Quelques gouttes d'**acide sulfurique (O)** sont **déposées (E)** sur un **papier (O)**. Immédiatement **il (O) noircit (E)** et l'**acide (O) transperce (E) le papier (O)**.

Ce signe indique qu'un **liquide (O)** est **corrosif (P)**. On doit respecter certaines consignes comme le **port (E)** de **gants (O)** de protection. Les **acides commerciaux (O)** sont tous très **corrosifs (P)**.

• Version R du commentaire du film *Acide corrosif*

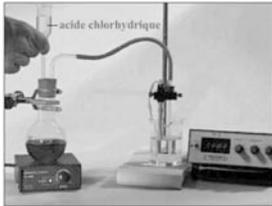
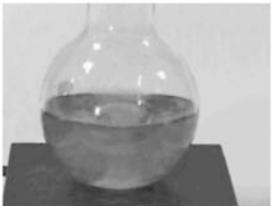
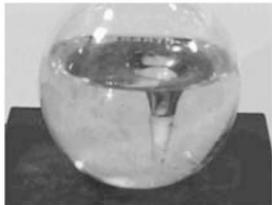
acides (O) sont **corrosifs (P)**, comme le montre cette expérience. Les **ions H⁺ (o)** en grand nombre dans cet **acide (O) concentré (P) déshydratent (é) la cellulose (o)** du **papier (O)** et **la (o) détruisent (é)** par une **réaction chimique (é) rapide (p)**.

Ce signe indique qu'un **liquide (O)** est **corrosif (P)**. Il peut y avoir une **réaction chimique (é)** entre un **acide (o)** et les **espèces chimiques (o)** présentes dans la **peau (O)**, surtout si l'**acide (o)** est **concentré (p)**. Son utilisation requiert le **port (E)** de **gants (O)** de protection.

Les deux versions de ce film évoquent le caractère corrosif des acides. Dans sa version P, 9 O + 4 E + 3 P = 16 connaissances sont catégorisées dans le monde perceptible et aucunes ne le sont aux niveaux reconstruits. En revanche, dans sa version R, 10 connaissances se catégorisent dans le monde perceptible et 12 dans le monde reconstruit.

Annexe IV – Synoptique des différents plans du film *Effet de l'addition d'un acide sur le pH*

La mise en scène respecte la charte des films d'expérience de la série Chemistry comes Alive! (Jacobsen & Moore, 1997) : insistance sur la chimie, réaction en gros plan, pas plus que les mains de l'opérateur n'apparaissent, etc. La linéarité du scénario, le repérage dans temps de l'expérience (Jacquinot, 1977) sont de plus pris en compte.

 <p>Plan I: Vue d'ensemble de l'expérience montrant un ballon à l'échelle et un pH-mètre. Une étiquette pointe vers le ballon avec le texte "acide chlorhydrique".</p>	 <p>Plan II: Gros plan montrant les objets perceptibles nécessaires à l'analyse et un événement perceptible essentiel, le barbotage d'un gaz.</p>	 <p>Plan III: Plan moyen montrant l'évolution de la valeur du pH. Le pH-mètre affiche 12.53.</p>
<p>I – Vue d'ensemble de l'expérience et incrustation précisant la nature d'un des réactifs utilisés.</p>	<p>II – Gros plan montrant les objets perceptibles nécessaires à l'analyse et un événement perceptible essentiel, le barbotage d'un gaz</p>	<p>III – Plan moyen montrant l'évolution de la valeur du pH. Il constitue un repère sur une propriété du système chimique et permet au spectateur de se situer dans le temps quand la valeur affichée est, plus tard, très différente.</p>
 <p>Plan IV: Autre plan moyen montrant à la fois un changement de couleur dans le ballon et la relation entre les deux systèmes chimiques.</p>	 <p>Plan V: Autre gros plan permettant d'insister sur l'évolution d'une des propriétés perceptibles (la couleur) du contenu du ballon.</p>	 <p>Plan VI: Le retour sur ce plan moyen n° III donne une idée de l'évolution du temps de l'expérience. Le pH-mètre affiche 8.72.</p>
<p>IV – Autre plan moyen montrant à la fois un changement de couleur dans le ballon et la relation entre les deux systèmes chimiques.</p>	<p>V – Autre gros plan permettant d'insister sur l'évolution d'une des propriétés perceptibles (la couleur) du contenu du ballon.</p>	<p>VI – Le retour sur ce plan moyen n° III donne une idée de l'évolution du temps de l'expérience.</p>
 <p>Plan VII: Ce gros plan déjà vu permet de situer l'évolution du temps grâce à la couleur du contenu du ballon.</p>	 <p>Plan VIII: Même commentaire que sur le plan n° VI. Le pH-mètre affiche 8.08.</p>	 <p>Plan IX: Le plan d'ensemble, comparé au plan initial, permet de constater l'ensemble des événements pertinents de l'expérience pour les mettre en relation. Le pH-mètre affiche 8.08.</p>
<p>VII – Ce gros plan déjà vu permet de situer l'évolution du temps grâce à la couleur du contenu du ballon.</p>	<p>VIII – Même commentaire que sur le plan n° VI.</p>	<p>IX – Le plan d'ensemble, comparé au plan initial, permet de constater l'ensemble des événements pertinents de l'expérience pour les mettre en relation.</p>

Annexe V – Questions posées aux élèves

Partie I

Avant de répondre aux questions de cette partie, regardez le film « Dissociation de HCl et $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ » et éventuellement d'autres films de votre choix.

- 1) L'éthanoate de sodium (ou acétate de sodium) est une poudre blanche soluble dans l'eau. Que signifie cette phrase pour vous ?
- 2) Comment peut-on représenter ce qui se passe en solution quand on ajoute de l'éthanoate de sodium dans de l'eau pure ?
- 3) Que peut-on dire du pH de la solution obtenue ? Et pourquoi ?
- 4) On ajoute de l'acide chlorhydrique à la solution obtenue. Expliquer pourquoi elle possède alors une odeur de vinaigre ?

Partie II

Pour répondre aux questions de cette partie, regardez le film « Effet de l'addition d'un acide sur le pH » et éventuellement d'autres films de votre choix.

- 1) Combien de réactions chimiques permettent d'expliquer ce qui se passe dans le ballon de gauche ? Justifier votre réponse en utilisant ce film, ou d'autres de votre choix.
- 2) Combien de réactions chimiques permettent d'expliquer ce qui se passe dans le bécher de droite ? Justifier votre réponse en utilisant le film.

Partie III

Regardez les films « Acide corrosif » et « Base corrosive » et répondre aux questions suivantes en vous aidant éventuellement d'autres films.

- 1) Que veut dire « corrosif » pour vous ?
- 2) Pourquoi à votre avis un acide et une base peuvent-ils être corrosifs ?
- 3) Certaines boissons sont acides. Sont-elles également corrosives ? Justifier la réponse.

Partie IV

Pour répondre à la question suivante vous pouvez regarder un ou plusieurs films de votre choix.

Vous disposez d'un indicateur coloré inconnu, d'un peu de cendre, de quelques tubes à essais et d'autres objets courants de laboratoire. Est-ce suffisant pour montrer, à l'aide d'une expérience que vous décrirez, si la boisson est plutôt acide ou plutôt basique ?

Partie V

Vous voulez expliquer à un élève de collège ce qu'est un « couple acide/base ». Vous disposez de la banque de film. Comment vous y prendriez-vous ?

- explorer la banque pour voir quelles informations que vous souhaitez utiliser ;
- préparer un petit dossier pour votre explication à ce jeune élève.

Annexe VI – Nombres d'utilisations de connaissances présentes dans les films par les 12 élèves

Nombres d'utilisations de connaissances présentes dans les films consultés qui permettent ou non de construire des liens. Dans chaque case, le premier nombre par exemple $UFP^c = 10$ est le nombre d'utilisations de connaissances qui conduit à la construction d'un lien, et le second, par exemple $UFP^n = 4$, n'a pas permis de construction. De plus, m = utilisation de mots du commentaire du film ; i = utilisation de l'image du film ; n = interprétation de l'image du film ; d = utilisation de l'idée du film ; s = sans utilisation du film.

N° de questions	m				i				n				d				Ks		
	UFP ^c	UFP ⁿ	UFR ^c	UFR ⁿ	UFC ^c	UFC ⁿ	UFR ^c	UFR ⁿ	UFP ^c	UFP ⁿ	UFR ^c	UFR ⁿ	UFC ^c	UFC ⁿ	UFR ^c	UFR ⁿ		UFC ^c	UFC ⁿ
Q. I.1		1	1	1											1				4
Q. I.2									1						1			1	2
Q. I.3		1					1						1						5
Q. I.4	2		1			1													3
Q. II.1	3		3		2		3												2
Q. II.2	2	1	2	1	1	1	2	1											
Q. III.1	2		3		1				2	1	3								
Q. III.2	1		3						1										5
Q. III.3			2	1	1				1			1							1
Q. IV			2												1				1
Q. V		1	2		1		2												
Total = 98 (UF = 75 + KS = 23)	10	4	19	2	3	2	5	2	9	1	1	1	1	4	1	4	2	1	23

■ COMPTE RENDU D'INNOVATION

Report of innovation

Didactique curriculaire et « éducation à... la santé, l'environnement et au développement durable » : quelles questions, quels repères ?

Didactic “curriculaire” and “education with... Health, environment and with the sustainable development” : which questions, which marks?

Didáctica “de curriculum” y nuevos temas escolares llamados “educación a ... la salud , al medio ambiente y al desarrollo sostenible” : qué preguntas ? Qué puntos de referencia ?

Curriculaire Didaktik und “Erziehung ... zur Gesundheit, zur Umwelt und zur nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung“ : welche Fragen, welche Anhaltspunkte?

Jean-Marc LANGE et Patricia VICTOR

IUFM de l'académie de Rouen
2, rue du Tronquet
76130 Mont-Saint-Aignan
jean-marc.lange@rouen.iufm.fr
patricia.victor@rouen.iufm.fr

Résumé

Les nouvelles modalités scolaires que constituent les « éducations à... la santé, l'environnement, le développement durable », sont l'occasion d'étudier les interactions existant entre les savoirs, l'identité professionnelle des enseignants et une orientation curriculaire nouvelle. Les enjeux sociaux qui s'y attachent, la nature de ces savoirs et les modalités de mise en œuvre obligent à prendre en compte le sujet-acteur dans la situation d'enseignement-apprentissage. Reconnaître la dimension sociale des savoirs scientifiques implique également des modifications dans les finalités éducatives de l'enseignement. La didactique curriculaire fournit des repères permettant de penser ces changements.

Mots clés : *éducation à..., santé, environnement, développement durable, identité professionnelle, didactique curriculaire, enseignement scientifique.*

Abstract

“Both health and environmental education as well as sustainable development awareness” represent new areas in teaching that offer the opportunity to study the interactions which exist between knowledge, how teachers view their role and the direction taken by the new syllabus. Related social problems, knowledge type and implementation make it thus crucial to take into account the relationship between subject matter and actor in a teaching situation. Identifying the importance of the social dimension in the sciences equally entails changing the educational objectives in teaching. Syllabus didactics is an area which attempts to do just that: determine and provide new reference points to implement change.

Keywords: *education with..., health, environment, sustainable development, professional identity, scientific education.*

Resumen

Las nuevas asignaturas escolares que son “educación a ... la salud, al medio ambiente y el desarrollo sostenible” son ocasiones para estudiar las interacciones que existen entre los saberes, la identidad profesional de los docentes y una orientación “curricular” nueva, es decir aún sin referentes académicos. Los retos sociales que se vinculan con estas asignaturas, la naturaleza de estos temas y sus modalidades de aplicación obligan a tener en cuenta al sujeto actor en la situación de enseñanza / aprendizaje. Reconocer la dimensión social de los saberes científicos implica igualmente modificaciones en las finalidades educativas de la enseñanza. La didáctica “de curriculum” proporciona puntos de referencia que permiten pensar estos cambios.

Palabras clave : *educación a..., salud, medio ambiente, desarrollo sostenible, identidad profesional, didáctica “curricular”, enseñanza científica.*

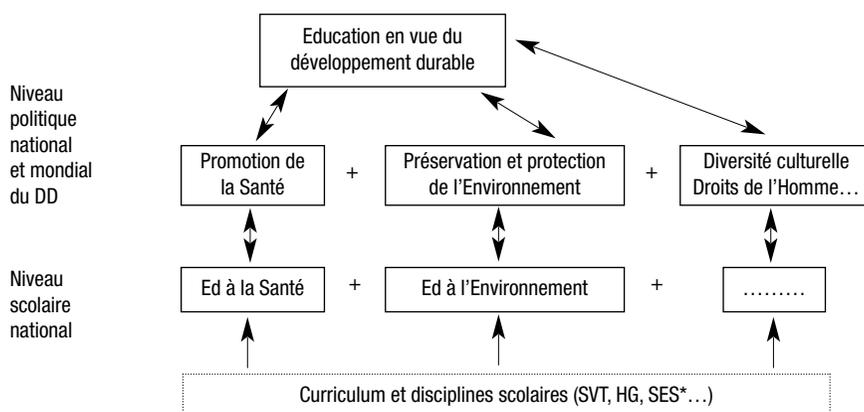
Zusammenfassung

Die neuen Unterrichtsmodalitäten, die die Erziehungen...zur Gesundheit, zur Umwelt und zur nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung darstellen, bieten die Gelegenheit, die Wechselwirkungen zu untersuchen, die zwischen den Kenntnissen, der beruflichen Identität der Lehrer und einer neuen curricularen Orientierung bestehen. Die sozialen Fragen, die damit zusammenhängen, das Wesen dieser Kenntnisse und die Durchführungsbestimmungen zwingen uns dazu, das handelnde Subjekt in der Unterrichts- und Lernsituation zu berücksichtigen. Die soziale Dimension der wissenschaftlichen Kenntnisse zu erkennen setzt auch Änderungen in den erzieherischen Zielsetzungen des Unterrichts voraus. Die curriculare Didaktik bietet Anhaltspunkte, die es ermöglichen, diese Änderungen zu durchdenken.

Schlüsselwörter: Erziehung zu..., Gesundheit, Umwelt, nachhaltige Wirtschaftsentwicklung, berufliche Identität, curriculare Didaktik, Unterricht der Mathematik und der Naturwissenschaften.

INTRODUCTION

En sciences de l'éducation, les situations d' « éducation à... la santé, l'environnement, au développement durable » constituent, dans le cadre du milieu scolaire et périscolaire, de nouveaux champs d'investigation. En effet, ces objets d'enseignement récents, réactualisés à partir des orientations définies par l'Unesco pour la décennie 2005-2014 (Fig.1), se différencient des disciplines par l'absence de référent académique et donc de curriculum clairement établi. Ainsi pour leur permettre de prendre place et de se généraliser, il est nécessaire de leur conférer un statut et une lisibilité pour les acteurs de terrain.



* Sciences de la vie et de la terre, Histoire-géographie, Sciences économiques et sociales.

Figure 1 • Articulation entre les niveaux politique et éducatif du développement durable (DD) relatifs à l'environnement et à la santé

Pour cela il nous semble pertinent, pour l'ensemble des « éducations à », de retenir parmi les nombreuses typologies des différentes recherches en éducation relative à l'environnement (ERE), celle proposée par Robottom et Hart en 1993 (Fortin-Debart et Girault, 2004). Ceux-ci distinguent trois orientations différentes de la recherche en éducation sur ce domaine :

- l'approche interprétative, centrée sur les relations, les rapports entre l'apprenant et l'environnement ;
- l'approche positiviste qui vise surtout l'acquisition de connaissances avec en perspective un changement de comportement ;
- l'approche critique sociale, qui se donne pour objectif de permettre à l'apprenant de développer une analyse critique des valeurs et intérêt sous-jacents.

C'est dans le courant de l'approche critique sociale, que nous situons nos propres travaux. Ce type d'approche permet de garder un équilibre, pour nous indispensable, entre « éducation » et « savoirs », mis au service d'une visée sociale. Pour autant, pour échapper à la facilité d'un discours purement injonctif et moralisateur, une approche didactique, c'est-à-dire centrée sur les contenus, est nécessaire. Mais quelle didactique mobiliser ?

Ces objets d'éducation s'efforcent d'exister actuellement au travers de *curriculum* existants. Le concept de *curriculum*, importé des pays anglo-saxons et utilisé dans certains pays francophones (Québec, Belgique), situe un programme d'enseignement dans le contexte de sa mise en œuvre (De Landsheere, 1979 ; D'Hainaut, 1988). Plus récemment l'idée de matrice curriculaire (Lebeaume, 1999) envisage le curriculum dans son intégralité et l'inscrit dans une perspective dynamique. C'est une méthode permettant d'identifier les continuités, les ruptures, les relations entre les différents enseignements dans leur développement longitudinal (Fig. 2). Centrée sur la situation prototypique d'enseignement-apprentissage, elle est structurée par les relations établies entre la tâche proposée, le référent de cette tâche et la visée éducative. Ces éléments se déclinent alors aux différentes échelles curriculaires dont il convient de préciser la cohérence et les principes de progressivité.

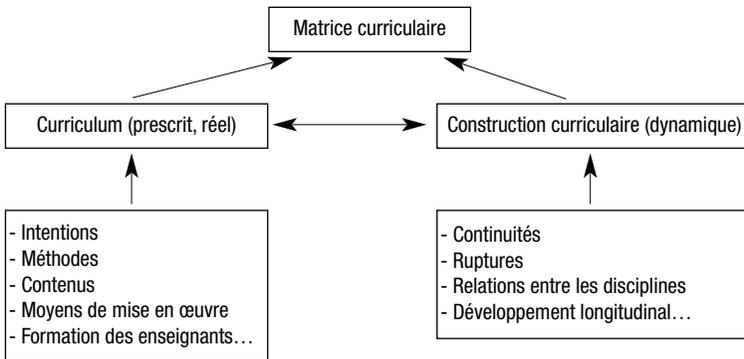


Figure 2 • Structure de la matrice curriculaire

Ce cadre théorique nous semble le plus approprié pour penser les domaines non disciplinaires en général et les « éducations à... » en particulier et nous permet de questionner ces objets dans une perspective curriculaire et de clarifier les problèmes qu'ils posent : quels changements vis-à-vis des savoirs scolaires traditionnels ? quelles interactions avec les disciplines scolaires coutumières ? quelles modalités de l'intervention enseignante ?

Revisiter certaines questions didactiques pour penser et analyser ces « nouvelles modalités scolaires », terme pris dans le sens de Jean-Louis Martinand (2003), et proposer des repères en termes de savoirs, de compétences et d'enjeux de formation sont les principaux objectifs de cet article. Pour cela nous allons dans un premier temps mettre en exergue les particularités de la matrice curriculaire qui permettent de penser les « éducations à... » puis, à l'aide des obstacles repérés au travers de nos recherches antérieures, nous proposerons des repères concernant la mise en œuvre de ces domaines dans un souci de reproductibilité et de généralisation.

1. DIDACTIQUE CURRICULAIRE ET « ÉDUCATION À ... »

1.1. Des objets de savoirs particuliers

La santé, l'environnement et le développement durable (DD) sont, en tant qu'outils « de » et « pour » la pensée, des concepts permettant d'appréhender le monde. Pour autant, ils ont dans le domaine éducatif un statut particulier. En effet, l'école est traditionnellement un lieu de « transmission » de savoirs scientifiques stabilisés, issus de disciplines académiques, même s'il existe depuis longtemps des exceptions à cette règle comme, par exemple, l'éducation physique et sportive, et la technologie. Ici nous avons davantage affaire à des savoirs non disciplinaires ayant une acception à caractère juridique, issus de compromis politiques et donc, par essence, polémiques, mouvants et objets de controverses. Cela se confirme dans la façon dont la France a traduit, dans son système éducatif, le thème du développement durable en EEDD, c'est-à-dire en ne retenant que l'aspect environnemental au détriment d'autres thèmes, et en particulier celui de l'aspect sanitaire. Ces objets s'appuient néanmoins sur un réseau de concepts scientifiques issus de différents domaines disciplinaires. Sont-ils pour autant si différents des concepts scientifiques qui nous sont familiers ? Rappelons que ce qui importe, c'est bien leur valeur heuristique et donc leur capacité à expliquer et à agir sur le monde. (Rumelhard, 1987 ; Lange, 2004)

De plus, ces savoirs juridiques et sociaux s'accompagnent de savoirs implicites, voire cachés, structurés également en réseau. Ainsi l'idée de DD est elle-même liée à celle de croissance et est animée par une certaine vision de la nature et du progrès qu'il convient de revisiter.

Dans ce contexte, le concept d'« îlot de rationalité », développé par Gérard Fourez, nous amène à nous questionner sur la pertinence de l'opposition qu'il voit entre « science engagée » et « science disciplinaire ou académique ». En effet, le défi pourrait être de construire, autour de ces questions de société, des îlots de rationalité « c'est-à-dire une représentation théorique qui emprunte ses éléments de savoir partout où elle en trouve de pertinents » (Fourez, 1988). Celui-ci souligne ainsi le caractère pluridimensionnel des concepts mis en jeu. Loin de vouloir nier l'importance des disciplines et leurs efficacités méthodologique et conceptuelle, il s'agit d'élaborer de nouveaux principes d'articulation des savoirs dans une perspective sociétale. Cela implique donc de reconnaître la double appartenance aux champs des sciences expérimentales et humaines de ces savoirs que nous proposons de qualifier de « mixtes ».

Dans le cas particulier de l'enseignement des sciences expérimentales, il s'agit, par une éducation prenant en compte la dimension sociale des savoirs scientifiques, de permettre un accès à une culture commune c'est à dire privilégiant la production de savoirs au détriment de leur consommation et en établissant un lien nouveau entre rationalité et citoyenneté (Astolfi, 2000). Nous retrouvons là les objectifs du courant Science-Technique-Société. Mais n'y a-t-il pas contradiction entre cette volonté d'une éducation anthropocentrée et une éducation scientifique qui se donne comme objectif de dépasser l'obstacle majeur identifié par les travaux de didactique des sciences, à savoir l'anthropocentrisme ?

Bref, comment et jusqu'à quel point scolariser ces nouveaux objets d'éducatons sans qu'ils perdent leur statut particulier de concepts sociaux non stabilisés ?

1.2. Des visées éducatives renouvelées

1.2.1. La démocratie, un enjeu éducatif fort...

Dans le domaine de « *l'éducation à...* », l'approche a considérablement évolué avec l'histoire de la société. Comme le souligne D. Nourrisson (2002) à propos de la santé, la conception de la prévention limitée dans un premier temps à une approche hygiéniste puis communautaire s'articule actuellement autour du concept de promotion de la santé et du développement des compétences psychosociales. On peut alors envisager d'aborder la situation de deux façons potentiellement différentes et le plus souvent vécues pédagogiquement comme étant antagonistes. En effet, soit l'objectif prioritaire réside dans l'objet de savoir lui-même (obésité, écosystème...) et alors il peut être ciblé sur l'aspect sanitaire ou environnemental ou économique, soit l'objectif est éducatif et il porte alors sur la personne et le développement de ses compétences psychosociales et cognitives.

Pour autant l'approche éducative, si elle doit être complémentaire de l'approche centrée sur les savoirs, se rattache à des valeurs, des objectifs plus étendus qui sont ceux de l'idéal démocratique. Ainsi, comme le décrit John Dewey (1916), « la formation des citoyens est d'autant plus pertinente que la démocratie est plus qu'une forme de gouvernement. Une société hautement démocratique est essentiellement un mode de vie associatif et d'expériences communes partagées par l'ensemble des êtres humains ». C'est cet enjeu démocratique que doit prendre en charge et investir le champ des « *éducations à...* ». On peut d'ailleurs constater que cette idée de démocratie s'illustre actuellement par le développement de « la démocratie sanitaire » et la prise en compte des expériences de la population. Au final, c'est le statut de l'expert qui est questionné et par voie de conséquence n'est-ce pas la relation enseignant-enseigné qui est interrogée ?

1.2.2. ... Pour un contexte sociétal en pleine évolution

Si l'idéal éducatif de démocratie mis en avant par Dewey entre encore aujourd'hui en résonance avec nos réflexions et continue à nous apporter un support efficace, il n'en reste pas moins que celles-ci s'exercent dans un contexte sociétal complètement renouvelé. Comme le montre G. Lipovetsky (2004), la montée en puissance de l'individualisme va de pair avec la diminution de l'influence des systèmes de contrôles sociaux et institutionnels normatifs dont l'École fait partie. Cet état de fait se traduit par l'existence de contradictions fondamentales à l'œuvre non seulement collectivement au sein de la société mais également dans chaque individu. Ce dernier, parce qu'il adhère au noyau dur des valeurs démocratiques issues des Lumières, se trouve tenaillé entre une volonté d'indépendance, d'autonomie, de consommation pour plus de plaisir et une montée en puissance d'un sentiment d'angoisse vis-à-vis de sa santé, et de l'état de la planète, en particulier son état environnemental. Dans ce contexte sociétal, « Lipovetsky propose une interprétation de notre hypermodernité..., selon laquelle la responsabilisation est la pierre angulaire de l'avenir de nos démocraties » (Charles, 2004).

Si on suit cette interprétation, construire un principe éthique de responsabilité devient un enjeu éducatif primordial. Notons toutefois que ce principe ne doit pas être confondu avec l'idée de culpabilité car « la responsabilité se pense de façon dialectique, comme une relation entre les personnes et ce que font et proposent les institutions » (Audigier, 1999). La construction d'un principe de responsabilité au travers d'une relation au savoir renouvelée est bien l'une des finalités des « *éducations à ...* ».

Mais alors comment peut-on dépasser la contradiction qui apparaît entre une visée centrée sur l'éducation et une visée centrée sur les objets ?

1.3. La place déterminante du sujet-acteur

Dans son ouvrage « Du rapport au savoir », B. Charlot (1997) montre que l'idée du savoir implique celle de sujet, d'activité du sujet, de rapport du sujet à lui-même, du rapport de ce sujet aux autres et au monde. Il identifie, dans ce rapport au savoir, deux composantes majeures, une composante épistémique, c'est-à-dire le rapport d'un sujet au monde et l'appropriation qu'il s'en fait, et une composante identitaire en référence à l'histoire du sujet et à ses attentes. La question du rapport au savoir a été de plus en plus prise en compte dans les travaux récents de didactique des sciences (Maury et Caillot, 2003) et a le mérite de réintroduire le sujet-acteur. Par sujet-acteur, nous entendons aussi bien l'élève que l'enseignant car chacun d'eux mobilise, sur ces questions, des systèmes de « représentations-connaissances », c'est à dire des croyances, opinions connaissances médiatiques ou savoirs plus ou moins assimilés (Beitone et Legardez, 1995) comme l'a montrée Laurence Simonneaux (2003).

Nous faisons également appel au concept sociologique d' « habitus » (Bourdieu, 2001) pour caractériser le groupe social que forme chaque catégorie d'enseignants. Si ce concept met en avant une certaine idée d'inertie et de résistance au changement caractérisant les groupes sociaux et professionnels, il pointe aussi l'idée de ressources à mobiliser dans l'action, ce qui lui confère une dimension créative. Comment l'enseignant va-t-il pouvoir prendre conscience de son identité personnelle et professionnelle et prendre en compte cette dimension dans la situation d'enseignement-apprentissage ?

1.4. Des tâches particulières

Les « éducations à... » renouvellent également les pratiques scolaires coutumières par la place qu'elles accordent au débat, à l'interdisciplinarité et au partenariat.

Dans les situations-débats, il s'agit de permettre aux élèves d'identifier ce qui relève de la croyance, de la pensée commune, de la connaissance étayée. Comme le souligne Laurence Simonneaux (2003), « il s'agit de mettre en évidence a posteriori le raisonnement développé par les élèves, de permettre une réflexion distanciée, autrement dit de favoriser une démarche métacognitive et méta-affective ».

L'aspect pluridimensionnel des savoirs convoqués impliquent également des approches partenariales et/ou interdisciplinaires. Cela implique pour l'enseignant de s'inscrire dans des dynamiques collectives de travail (Mérini, 2004), ce qui ne constitue pas pour lui une démarche « naturelle ». Et alors comment former les enseignants à ces nouvelles pratiques profession-

nelles ? Comment penser de façon collective la cohérence et la progressivité du parcours éducatif ? Quels dispositifs mettre en place pour qu'ils inscrivent leur démarche dans une perspective curriculaire ?

2. LES OBSTACLES POTENTIELS

Pour identifier les obstacles potentiels à l'appropriation de ces domaines, nous nous appuyons sur des enquêtes et des entretiens semi-directifs réalisés auprès de populations diverses d'enseignants du premier et du second degré (instituteurs, instituteurs spécialisés (AIS), professeurs des écoles (PE2), professeurs de lycée et collège en sciences de la vie et de la Terre (PLC2 SVT)), en formation initiale (FI) et continue (FC). Ils ont permis d'affiner notre réflexion et d'identifier certaines questions liées à ce type d'éducation, de mettre en évidence des positions récurrentes chez la plupart des individus interrogés et de constater la place centrale que prend le sujet-acteur.

En particulier, il nous est apparu que la vision individuelle l'emporte majoritairement sur le collectif pour les problèmes de santé et à l'inverse les causes et les solutions semblent collectives pour les problèmes d'environnement. Nous retrouvons de ce fait les dualismes traditionnels que sont la raison et le corps, l'individu et la société, l'homme et la nature évoqués par J. Dewey qui constituent encore aujourd'hui un obstacle à la prise de conscience des individus. La pensée duelle est alors l'un des objectifs-obstacles principaux que doit se fixer toute situation d'enseignement-apprentissage dans les domaines de la santé et de l'environnement.

Concernant le statut « mixte » des objets de savoirs mis en jeu, nous avons pu constater, lors de nos enquêtes, que l'aspect polysémique et donc pluridimensionnel de toute thématique liée à ces domaines n'était pas familier à la plupart des stagiaires, particulièrement en formation initiale, mais, qu'au contraire, chacun, de par sa culture, s'en était construit une représentation tout à fait personnelle. Le rapport unidimensionnel à ces savoirs, rencontré chez les stagiaires, est un obstacle à la construction d'un réseau sémantique concernant telle ou telle thématique (Lange et Victor, 2000).

Il semble que, outre ces obstacles, la résistance des enseignants face à ces domaines puisse provenir de leur identité professionnelle qui est encore très fortement attachée à l'instruction et à l'enseignement plutôt qu'à un principe d'éducation, au moins pour les professeurs de lycée ou de collège.

En effet, les données que nous avons recueillies montrent que la construction identitaire à la fois personnelle (le sexe, l'histoire familiale...) et professionnelle (la filière de formation) des enseignants joue un rôle non négligeable au niveau de leur implication dans ces domaines (Bourgeois-

Victor *et al.* 1998 ; Bourgeois-Victor et Lange, 1998 ; Bourgeois-Victor *et al.* 1998 ; P. Victor *et al.* 2001). Elles confirment l'existence d'une identité professionnelle catégorielle construite en partie au cours de la formation disciplinaire initiale. Ainsi, par exemple à propos de la santé, les résultats d'une enquête (n=103) menée pendant trois années successives auprès de différents stagiaires ont été confirmés par une série d'entretiens semi-directifs (n=15) réalisés l'année suivante. Un référentiel de mots clés, inspiré de Theys (1993), a été utilisé pour l'analyse. Cette typologie retient les catégories suivantes : une représentation de type « vie pratique » liée aux aspects pratiques de la vie quotidienne (VP), une représentation de type « technique » liée au monde médical (T), une représentation de type « socio politique » liée à la participation des individus à la gestion de la santé (SP) et une représentation de type « morale » à la fois éthique et psychologique de la santé (M) (Fig. 3).

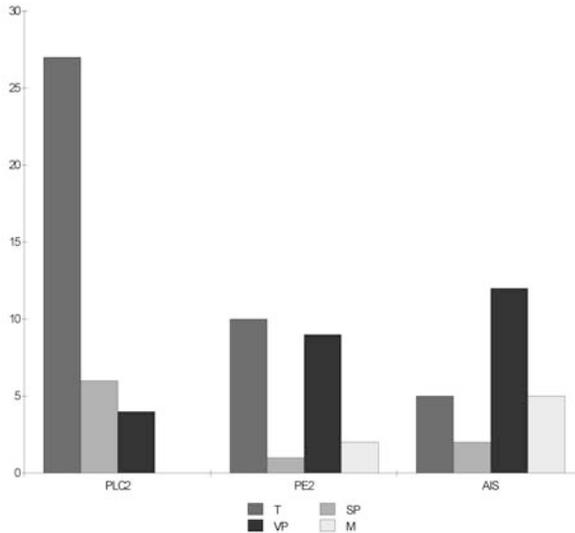


Figure 3 • **Nombre de mots associés librement au mot santé en fonction de chaque population et par type de représentation**

Ainsi chez les PLC2 SVT, la conception que nous avons qualifiée dans un premier temps de technicienne pourrait être à l'origine d'une posture et donc d'une approche positiviste de ces domaines. Cependant, des recueils actuels montrent, en première analyse, chez les futurs enseignants de SVT une prise de conscience et une acceptation majoritaire de la prise en compte des enjeux sociaux et de citoyenneté de l'enseignement scientifique.

Comment alors prendre en compte et dépasser ces obstacles dans le cadre d'une formation d'enseignants ?

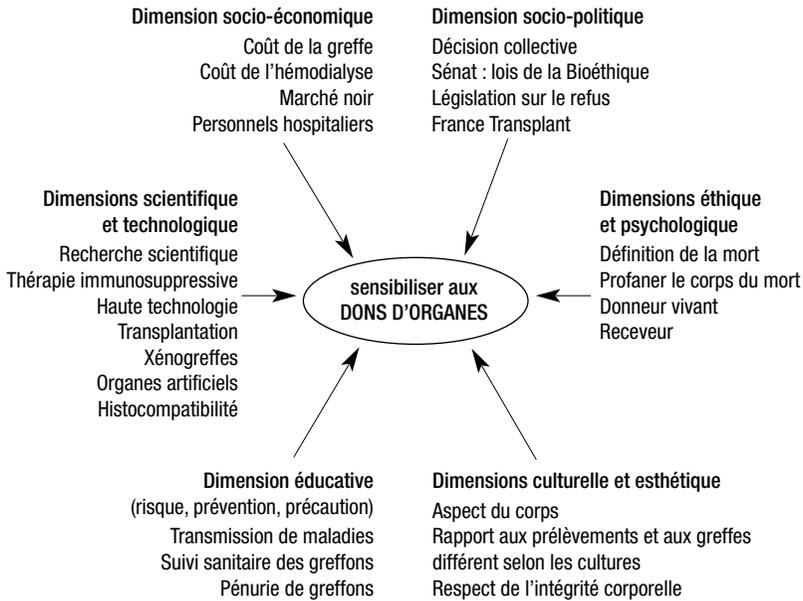
3. DES REPÈRES EN DIDACTIQUE CURRICULAIRE

Dans le cadre théorique curriculaire, pour penser les actions éducatives non disciplinaires telles que les « *éducations à ...* », c'est moins aux idées de transposition didactique, ou de résolution de problèmes que l'on doit faire appel, qu'aux notions de pratiques de référence et de construction d'une opinion raisonnée. Nous proposons aux apprenants de construire ces opinions raisonnées, par l'élaboration de réseaux sémantiques, les îlots de rationalité, composés entre autres de concepts et de notions scientifiques. Cette élaboration ne peut se faire qu'au moyen d'une interdisciplinarité mettant en œuvre des pratiques concrètes de négociations et par le moyen de l'apprentissage au débat.

« *L' éducation à ...* » impose une nouvelle relation aux savoirs scientifiques : ceux-ci ne peuvent plus être des savoirs académiques neutres, dissociés de tous contextes et qu'ils suffiraient simplement de transposer dans le cadre des disciplines scolaires habituel. Si ce sont bien les savoirs qui justifient l'école, ils doivent néanmoins être repensés dans l'optique d'une science engagée, c'est à dire qui s'intéresse aux « questions vives » de la société (Simonneaux, 2003). Postulons que, pour les apprenants, il y a là un bon moyen de donner du sens aux apprentissages.

De même pour la formation, nous pensons, suivant en cela le principe de réflexivité de Bourdieu (2001), que c'est par un effet de contraste que l'observation et le vécu de savoirs disciplinaires en action permettent de prendre conscience des implicites méthodologiques, conceptuels, paradigmatiques et des enjeux d'une discipline. Nous proposons pour ce faire des moments de rencontre interdisciplinaires réflexifs en situation de formation (Lange, 2004). Dans ces dispositifs, « rapport au savoir » et « habitus » deviennent potentiellement des outils d'analyse permettant de repérer les obstacles cités comme la pensée duelle et la pensée unidimensionnelle mais également d'intervention permettant leur dépassement (Perrenoud, 2001 ; Lange, 2004).

Ainsi, la confrontation des stagiaires à l'outil de structuration du débat que nous avons élaboré et validé auprès d'experts (Fig. 4) a permis, pour la plupart d'entre eux, de dépasser l'obstacle d'un rapport unidimensionnel à ce type de savoir et ainsi de pouvoir partager une culture commune.



NB : Les flèches ont pour signification « mobilisées pour ».

Figure 4 • Exemple d'organigramme concernant « la sensibilisation aux dons d'organes »

Dans le cadre de nos recherches et de notre réflexion, nous pouvons alors essayer dégager un certain nombre de repères d'intervention qu'il conviendra pour certains d'entre eux de valider comme la nécessité :

- d'aborder les thématiques de façon constructive et globale, au moyen de la construction d'îlots de rationalité,
- de se situer davantage dans l'éducation et la construction de l'individu que dans l'approche par problèmes de santé et/ou d'environnement et la prescription de comportements en prenant en compte le « rapport au savoir » et le « sujet-acteur »,
- d'adopter une démarche plutôt ascendante prenant en compte l'expérience réflexive des apprenants et de la population, expérience qu'il est intéressant de croiser avec l'avis des experts ; ce dépassement de l'opposition traditionnelle expérience/expertise prenant alors toute sa valeur démocratique éducative, en lien avec l'hypermodernité,
- de prendre en compte les obstacles liés à la pensée duelle par la prise de conscience que cette dualité n'est qu'une inclinaison de l'esprit et que l'interaction est plus efficiente que l'opposition perçue,
- de construire un principe éthique de responsabilité au moyen d'une opinion raisonnée par l'initiation à la culture du débat en rupture avec celle de la joute,

de la compétition forcenée réactualisant ainsi un processus d'acculturation par l'école.

L'ensemble de cette réflexion nous amène à concevoir une situation prototypique d'apprentissage prenant en compte le sujet acteur lui-même et les principaux obstacles repérés (P. Victor et coll., 2001), ce qui nous conduit à proposer le schéma suivant (Fig. 5).

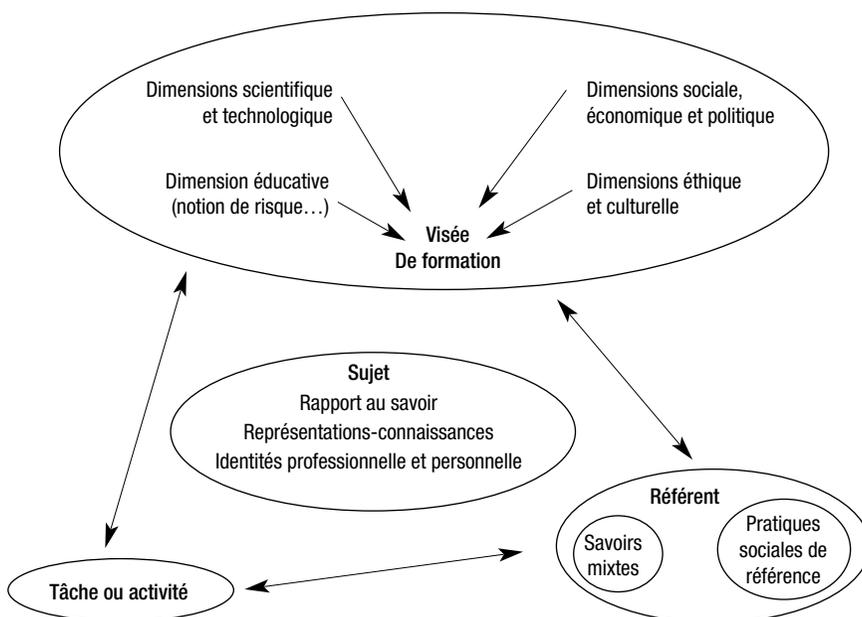


Figure 5 • Situation d'enseignement-apprentissage dans les domaines de l'éducation à la santé, à l'environnement et au développement durable

Ainsi, il nous semble important de penser cette question des « éducation à... » non en terme de reconstruction de programmes nouveaux mais au contraire en terme de repères à identifier, comme autant de « balises curriculaires », permettant la constitution d'une matrice curriculaire dans ces domaines.

4. CONCLUSION

Faire de la santé, de l'environnement, du développement durable... des objets d'enseignement impose de prendre en compte leurs caractéristiques. Leur statut inhabituel, dans le milieu scolaire, de concept à caractère juridique, idéologique et politique nécessite de les ancrer fortement dans un réseau notionnel et conceptuel issu de différents champs disciplinaires. Mais

il convient également de tenir compte de savoirs implicites, voire cachés, chargés de valeurs, qui s'y trouvent associés.

De plus, leur dimension éducative ne peut prendre sens que si nous la relient à l'apprentissage des valeurs démocratiques. La visée éducative ne peut plus être dans ce contexte la simple transmission de savoirs académiques. Nous avons vu en quoi l'idée de science engagée permet de situer les savoirs scientifiques dans cette perspective avec comme visée la construction chez les apprenants d'opinions construites.

Les caractéristiques que nous venons de décrire entraînent des recompositions disciplinaires entre « cœur » et « périphérie » (Lebeaume, 2004), une relation enseignant/apprenant transformée, et enfin des pratiques nouvelles puisque, aux activités scolaires coutumières, s'ajoutent la pratique de l'enquête et celle du débat. De plus, pour ces domaines, les enseignants seront amenés à exercer dans une dynamique collective de travail (partenariat, co ou interdisciplinarité) (Mérini, 2004). Il semble donc pertinent de penser les domaines « *d'éducation à ...* » dans le cadre de matrices curriculaires en intégrant à chaque instant et à chaque niveau l'individu en tant que sujet pensant et en tenant compte des obstacles identitaires potentiels ainsi que ceux liés à la pensée duelle.

Généraliser les « *éducations à...* » c'est assumer l'ensemble du renouvellement de la situation d'enseignement-apprentissage qu'elles impliquent et c'est accepter une évolution de la relation enseignant-enseigné-savoirs qui coïncide avec l'évolution générale de la société et ses attentes. Reste à poursuivre cette réflexion didactique qui consisterait à clarifier l'épistémologie des savoirs engagés, de rendre les « balises curriculaires » identifiées opérationnelles et de déterminer les apports respectifs de chacune des disciplines scolaires concernées mais aussi leurs limites et leurs articulations.

Mais c'est aussi résoudre un certain nombre de contradictions et répondre aux questions que nous avons tenté de relever tout au long de cet article.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI J.P. (2000). L'enseignement scientifique, composante d'une culture pour tous. In *Pour une culture commune de la maternelle à l'université*. Paris : Hachette éducation.
- AUDIGIER F. (1999). Education à la citoyenneté et responsabilité des acteurs. *Actes du séminaire « Responsabilisation/Empowerment : du principe aux pratiques »*. CDCC/Delphes.
- BEITONE A., LEGARDEZ, A. et al. (1997). *Travaux en didactique des sciences économiques, sociales et de gestion*, Publication de l'Université de Provence.
- BOILLOT-GRENON F. (1996) "The integration of a global and context related approach on the school systems. The example of the environmental education in the northern French speaking countries" in Giordan A., Girault Y. *The new learning Models. Their consequences for the technology of biology, headline and environment*. Z'Editions.

- BOURDIEU P. (2001). *Science de la science et réflexivité*. Paris : Raisons d'agir.
- BOURGEOIS-VICTOR P., COQUIDE M., LANGE J.-M. (1998). « Conceptions d'enseignants sur l'éducation à la santé : une contribution pour penser la formation ». *Actes du colloque international Recherche et formation des Enseignants*. Grenoble 1998.
- BOURGEOIS-VICTOR P., LANGE J.-M. (1998). « Comment peut-on lier l'éducation à la santé et à l'environnement dans la formation des enseignants ? ». *Actes des XX^{es} Journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et Industrielles « Formation à la médiation et à l'enseignement »*. Paris, Association DIREST, LIREST, Université Paris 7.
- BOURGEOIS-VICTOR P., LANGE J.-M., COGERINO G. (1998). « Evaluation de l'impact de formations en éducation à la santé sur la pratique effective des enseignants ». *Actes de la 4e Biennale de l'Education et de la Formation*. Paris, 1998.
- CHARLOT B. (1997). *Du rapport au savoir, éléments pour une théorie*. Paris : Anthropos.
- D'HAINAUT L. (1988). *Des fins aux objectifs de l'éducation. Un cadre conceptuel et une méthode générale pour établir les résultats attendus de la formation*. Bruxelles, Labor, (1977, 1985).
- DE LANDSHEERE G. (1979). *Dictionnaire de l'évaluation et de la recherche en éducation*. Paris, P.U.F.
- DEWEY J. (1916). *Démocratie et éducation*. Traduction G. Deledalle, 1990, Paris : A. Colin.
- FORTIN-DEBART C. et GIRAULT Y. (2004). *L'interdisciplinarité pour une éducation à l'environnement vers un développement durable*. Argos, 35, 25-31.
- FOUREZ G. (1988). *La construction des sciences : les logiques des inventions scientifiques, introduction à la philosophie et à l'éthique des sciences*. Bruxelles, De Boeck Université 2^e édition revue 1992.
- LANGE J.M. et VICTOR P. (2000). L'interdisciplinarité : une approche indispensable à la prise en compte de la notion de risque, dans le cadre d'une formation, en éducation à la santé ou à l'environnement. *Actes des XXI^{es} Journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et Industrielles « L'éducation aux risques : santé, sécurité, environnement »*. Paris, Association DIREST, LIREST, Université Paris 7.
- LANGE J.M. (2004). Vers l'identification des savoirs en action dans l'enseignement des SVT. In *Savoirs en action et acteurs de la formation*, dir. J.P. Astolfi. Rouen, P.U.R.
- LIPOVETSKY G. et CHARLES S. (2004). *Les temps hypermodernes*. Nouveau collège de philosophie. Paris, Grasset et Fasquelle.
- LEBEAUME J. (1999). *Perspectives curriculaires en éducation technologique*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches. Université Paris Sud.
- LEBEAUME J. (2004). Introduction du symposium « Transversalité des apprentissages, polyvalence et dynamiques collectives de travail ». *Actes du 5e congrès international AECSE*. Paris, CNAM.
- MARTINAND J.-L. (2003). « L'éducation technologique à l'école moyenne en France : problèmes de didactique curriculaire ». *La revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*. 3 :1, 100-116.
- MAURY S. et CAILLOT M. (2003). *Rapport au savoir et didactique*. Paris, Fabert.
- MERINI C. (2004). Transversalité des apprentissages, polyvalence et dynamiques collectives de travail. *Actes du 5e congrès international AECSE*. Paris, CNAM.
- NOURRISSON D. (dir.) (2002). *Education à la santé, XIX^e-XX^e siècle*. Editions ENSP.
- PERRENOUD P. (2001). *Développer la pratique réflexive dans le métier d'enseignant. Professionnalisation et raison pédagogique*. Paris, ESF.
- RUMELHARD G. (1987). *La génétique et ses représentations*. Berne, Peter Lang.
- ROBOTTOM, I. et HART, P. (1993). *Research in Environmental Education*. Engaging the debate, Victoria : Deakin University.

SIMONNEAUX L. (2003). Enseigner les savoirs « chauds » : l'éducation biotechnologique entre science et valeurs, in *Education et formation : nouvelles questions, nouveaux métiers* (dir. J.-P. Astolfi), chapitre 7. Paris, ESF.

THEYS J. (1993). *L'Environnement à la recherche d'une définition*. Institut français de l'environnement.

VICTOR P., LANGE J.-M. et COQUIDE M. (2001). Éducation à la santé et à l'environnement : concepts, enjeux et stratégies de formation. *Actes du séminaire « Recherches en IUFM »*. Cachan, LIREST.

Cet article a été reçu le 09/03/2005 et accepté le 15/02/2006.

■ COMPTE RENDU D'INNOVATION

Report of innovation

Un support d'enseignement du mécanisme de la vision inspiré de l'histoire des sciences

**A teaching tool for an optical explanation
of vision inspired by some elements
of the history of optics**

**Un soporte educativo para la explicación
del mecanismo de la visión inspirado
de la historia de las ciencias**

**Eine Unterrichtsstütze für die Erklärung
des Mechanismus des Sehens durch Elemente
aus der Geschichte der Wissenschaften**

Cécile de Hosson

Laboratoire de didactique des sciences physiques
Université Paris 7
cecile.dehosson@paris7.jussieu.fr

Wanda Kaminski

IUFM de Reims
Laboratoire de didactique des sciences physiques
Université Paris 7
wanda.kaminski@noos.fr

Résumé

Cet article présente l'élaboration et l'analyse d'un support d'enseignement du mécanisme optique de la vision inspiré d'une controverse historique. L'attention portée aux raisonnements d'élèves de 12-13 ans, avant enseignement d'optique, montre que ceux-ci n'associent l'entrée de la lumière dans l'œil qu'à l'éblouissement. D'une façon générale, ils expliquent la vision soit dans un sens œil-objet, soit dans un sens objet-œil. L'histoire antique et médiévale est témoin d'idées analogues : comme les élèves, les savants s'opposent sur le sens de la vue. Dès le XI^e siècle, Alhazen ouvre la voie à un consensus et fournit des arguments permettant de considérer la lumière comme un stimulus de la vue. Le moyen d'enseignement proposé ici est construit en référence au cheminement historique : il intègre la controverse du sens de la vue et la solution d'Alhazen. Ces idées constituent la trame d'un texte (un dialogue) présenté à des élèves de 12-13 ans avant enseignement. L'analyse d'entretiens, menés avec ces élèves, montre que le processus d'apprentissage est favorisé par l'identification des élèves aux savants mis en scène, et indique une prise de conscience de leur acte cognitif qui profite de l'approche historique.

Mots clés : *vision, histoire des sciences, controverse, dialogue, séance d'enseignement.*

Abstract

This paper deals with the development and analysis of a teaching sequence inspired by the age-old controversy surrounding eyesight and its associated mechanism. Prior to being taught about visual optics, the group of 12-13 year olds involved in the study believed that light could only penetrate the eye due to saturation. Furthermore, they felt that human eyesight could be best explained by the emission of something from either the object itself or from the eye. History would have it that in Ancient and Medieval times scholars held similar scientific beliefs surrounding the "direction of vision" (i.e. which, of the eye or the object seen, was the emitter). In the 11th century Alhazen opened the way to consensus by arguing that sight might well be a result of the eye being stimulated by light. The teaching sequence developed here makes reference to these historical events by assimilating both the "direction-of-vision" controversy as well as Alhazen's theory on eyesight. The ideas were integrated into a dialogue which was tested on twelve 12-13 year olds. Analysis of the pupil input shows that they are more implicated in the learning process when they identify with the actors on stage playing the roles of scholars.

Keywords: *eyesight, history of science, controversy, dialogue, teaching-learning sequences.*

Resumen

Este artículo presenta la elaboración y el análisis de un soporte educativo para la explicación del mecanismo óptico de la visión, soporte inspirado de una controversia histórica. Los razonamientos observados en alumnos de 12 a 13 años antes de abordar el tema de la óptica, muestran que éstos sólo asocian la entrada de la luz en el ojo al deslumbramiento. De manera general, explican la visión, sea en un sentido ojo-objeto, sea en un sentido objeto-ojo. La historia antigua y medieval fue testigo de ideas análogas : como los alumnos, los sabios se opusieron sobre la dirección de la vista. Ya en el siglo XI, Alhacén abrió el camino a un consenso y proporcionó argumentos que permitieron considerar la luz como un "stimulus" de la vista. El apoyo educativo propuesto aquí se construye en referencia a la progresión histórica. Estas ideas constituyen la trama de un texto (un diálogo) presentado a alumnos de 12 a 13 años antes de la explicación. El análisis de las conversaciones llevadas a cabo con dichos alumnos, muestra que el proceso de aprendizaje se encuentra favorecido por la identificación de los alumnos con los sabios puestos en escena e indica una toma de conciencia de su acto cognitivo que se beneficia de la perspectiva histórica.

Palabras clave: *visión, historia de las ciencias, controversia, diálogo, secuencia de enseñanza.*

Zusammenfassung

Dieser Artikel stellt die Ausarbeitung und die Analyse einer Unterrichtsstütze dar, die für die Erklärung des optischen Mechanismus des Sehens aus einer historischen Kontroverse entwickelt wurde. Die Aufmerksamkeit, die vor Beginn des Optikunterrichts den Gedankengängen von zwölf- bzw. dreizehnjährigen Schülern geschenkt wurde, zeigt, dass für diese Schüler Licht in ihre Augen nur dann eindringen kann, wenn sie geblendet werden. Im allgemeinen erklären sie das Sehvermögen entweder in einer Richtung Auge-Gegenstand oder in einer Richtung Gegenstand-Auge. Die Geschichte der Antike und des Mittelalters weist ähnliche Vorstellungen auf: wie die Schüler sind die Wissenschaftler gegensätzlicher Meinung über die Richtung des Sehens. Schon im 11. Jahrhundert bahnte Alhazen den Weg für einen Konsens und führte Argumente an, die es ermöglichten, das Licht als Stimulus für das Auge zu betrachten. Die hier vorgeschlagene Unterrichtsstütze bezieht sich auf die historische Entwicklung: sie integriert die Kontroverse über die Richtung des Sehens und die Lösung von Alhazen. Diese Ideen bilden die Grundlage eines Textes (eines Dialogs), der vor Beginn des Unterrichts zwölf- bzw. dreizehnjährigen Schülern vorgelegt wurde. Die Untersuchung der mit diesen Schülern geführten Gespräche zeigt, dass der Lernprozess durch die Identifikation der Schüler mit den in Szene gesetzten Wissenschaftlern begünstigt wird und weist auf eine

mögliche Bewusstwerdung ihres kognitiven Akts hin, der seinerseits Nutzen aus der historischen Herangehensweise zieht.

Schlüsselwörter: *Sehen, Geschichte der Wissenschaften, Kontroverse, Dialog, Unterrichtssequenz.*

INTRODUCTION

L'acquisition du mécanisme optique de la vision implique que l'élève modifie ses conceptions et qu'il construise un modèle dans lequel la lumière devient une entité invisible qui relie l'objet regardé à l'œil de l'observateur. Cette construction nécessite un effort d'abstraction important qui mérite une aide particulière. En complément de toutes les formes d'accompagnement pédagogique disponibles (expériences, études de documents papier ou vidéo...), nous avons choisi d'utiliser un support littéraire : un dialogue inspiré du *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* de Galilée, que nous avons élaboré à partir d'éléments d'histoire des théories de la vision.

L'utilisation de la forme littéraire dialoguée à des fins pédagogiques est omniprésente dans l'histoire des idées et dans celle plus particulière des sciences. Au V^e siècle avant J.-C., les dialogues platoniciens apparaissent comme une transposition littéraire des exigences philosophiques de la rhétorique définie par Platon : l'art oratoire doit servir ce que Platon appelle la « psychagogie », c'est-à-dire la formation des esprits. Celle-ci a pour procédé la dialectique et pour but la recherche de la vérité. Et c'est par la méthode dite de la « maïeutique » (celle de l'accouchement) que le fondateur de l'Académie, par la voie de Socrate, amène ses disciples sur le chemin de la connaissance. Galilée (1632) reprend, plus de vingt siècles plus tard, la structure fondatrice de la forme dialoguée socratique afin de mettre en scène la science de son temps.

Les modalités pédagogiques et littéraires du *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* sont telles qu'elles poussent le lecteur à s'identifier, non avec la figure même de Galilée, mais avec un représentant de l'opinion commune. Le lecteur est ensuite amené à récuser cette opinion et à lui substituer des idées novatrices par la réalisation de ce que Feyerabend qualifie de « saut formidable de l'imagination » (Feyerabend, 1975). La genèse de notre dialogue exploite ce même procédé d'identification. Les personnages mis en scène dans le texte s'affrontent sur le « sens » de la vue, jouant ainsi un épisode de l'une des controverses les plus longues de l'histoire des sciences. Une étude portant sur les raisonnements des élèves à propos de la vision nous laisse supposer que cet affrontement fait écho à un débat qui pourrait se tenir au sein d'un groupe d'élèves interrogés sur le fonctionnement de la vision. Sans chercher à réduire l'écart entre la psychogenèse et

l'histoire des sciences, nous prenons le parti d'exploiter la proximité de quelques aspects de l'interprétation de la vision qui constitueraient des obstacles possibles à la construction d'un modèle physique de la vision.

Dans sa tentative d'associer l'histoire des sciences à l'enseignement, notre travail s'inscrit dans un champ qui a fait l'objet de plusieurs recherches en didactique des sciences. Nombre d'entre elles ont su poser les jalons d'une réflexion visant à faire de l'utilisation d'épisodes d'histoire des sciences une ressource pour l'enseignement (Audigier & Fillon, 1991 ; Benseghir & Closset, 1993 ; Guedj, 2005 ; Laugier & Dumon, 2003 ; Méheut *et al.*, 2004 ; Merle, 2002 ; Saltiel & Viennot, 1985). En nous inspirant des principes méthodologiques d'une *teaching experiment* (expérience d'enseignement) (Komorek & Duit, 2004), nous exposerons les réactions d'élèves de 12-13 ans à qui nous avons proposé une séance d'enseignement conçue à partir de ce dialogue. Nous chercherons à caractériser quelques éléments d'évaluation de cette séance. En particulier, nous regarderons si l'intérêt des élèves et leur engagement profitent de la possibilité qui leur est offerte de reconnaître leurs conceptions dans celles exprimées par les personnages du texte.

LES ÉLÈVES ET LE RÔLE DE LA LUMIÈRE DANS LA VISION

L'optique est un domaine qui a donné lieu à de nombreuses recherches en didactique dans le monde (Anderson & Karrqvist, 1983 ; Chauvet, 1994 ; Gallili, 1996 ; Guesne, 1984 ; de Hosson & Kaminski, 2002 ; Kaminski, 1989 ; La Rosa *et al.*, 1984 ; Osborne & Black, 1993 ; Tiberghien, 1983 ; Viennot, 2002). D'une façon générale, rares sont les élèves qui reconnaissent que les objets ordinairement éclairés renvoient la lumière qu'ils reçoivent. La lumière est identifiée aux sources primaires dont elle est issue, ou à la zone d'éclairement parfois visible à la surface de l'objet et non à l'entité invisible qui se propage à partir des objets ordinairement éclairés. Ajoutons que pour la plupart d'entre eux, l'entrée de lumière dans l'œil n'est admise qu'au prix de la gêne provoquée par l'éblouissement, situation particulière au cours de laquelle la vision est difficile, voire impossible (de Hosson, 2004).

Nous nous intéressons spécifiquement à la façon dont 227 élèves de 12-13 ans expliquent spontanément la vision (avant tout enseignement d'optique). A partir d'une vignette où figurent une fillette et une fleur, nous leur demandons de répondre à la question suivante : « explique le mécanisme de la vision, c'est-à-dire la façon dont on voit les objets qui nous entourent. Tu peux utiliser la vignette si tu le souhaites. ». L'objectif de cette enquête est de détecter le « sens » privilégié par les élèves pour expliquer la vision. La très

grande majorité des élèves interrogés (204 sur 227, soit 90 % des élèves) répond à cette question en complétant, avec des flèches, la vignette proposée. La figure 1 ci-dessous rend compte des différentes manières d'ajouter des flèches sur les copies recueillies au cours de l'enquête¹.

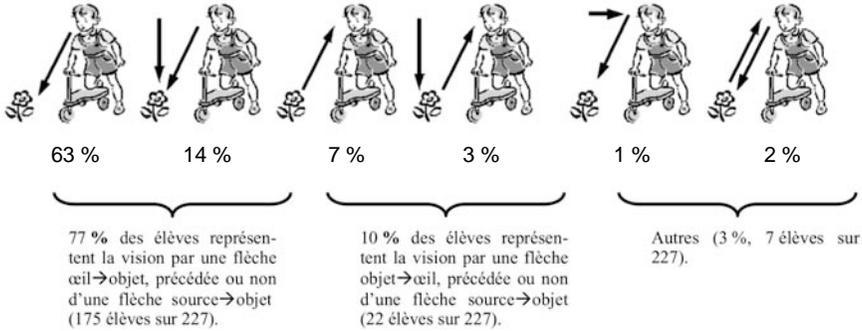


Figure 1 • **Synthèse des résultats obtenus à la question : « explique le mécanisme de la vision ». Ces résultats concernent uniquement les réponses des élèves ayant représenté des flèches sur le dessin, soit 204 élèves sur les 227 interrogés (90 % du total)**

En outre, 14 élèves (sur 227) expliquent la vision par l'envoi de quelque chose depuis l'œil, sans l'aide du dessin. Au total, ce sont 196 élèves sur 227 (86 % des élèves interrogés) qui expliquent la vision à l'aide d'un médiateur orienté dans le sens œil → objet, tandis que 31 élèves sur 227 (14 % des élèves interrogés) privilégient un sens objet → œil. L'attention portée au vocabulaire utilisé par les élèves pour désigner ce qui entre ou ce qui sort de l'œil indique que la lumière n'est que très rarement le protagoniste de leurs explications. Le mot « lumière » apparaît dans 2 % de la totalité des réponses (5 élèves sur 227), et se rapporte à l'entité qui pénètre dans l'œil, sans que celle-ci provienne nécessairement de l'objet regardé. Le phénomène de la diffusion et l'entrée de la lumière dans l'œil constituent les principes fondateurs d'un modèle physique de la vision simple et acceptable. Nous pouvons donc nous attendre à ce que l'acquisition d'un tel modèle soit très difficile pour les élèves.

Un regard sur l'histoire des sciences nous permet de constater qu'il a fallu près de quinze siècles pour que la lumière soit posée pour la première fois comme *stimulus* de la vue, et cinq siècles supplémentaires pour que cette explication soit acceptée de façon consensuelle par la communauté savante (Lindberg, 1976 ; Park, 1997 ; Rashed, 1997 ; Ronchi, 1956 ; Simon, 1988).

(1) Enquête réalisée sur la base d'un questionnaire papier-crayon distribué à 227 élèves répartis dans quatre établissements de Seine-Saint-Denis et des Yvelines.

HISTOIRE DES THÉORIES DE LA VISION : COMMENT LA LUMIÈRE EST DEVENUE LE STIMULUS DE LA VUE

« Lumière : Fluide très délié qui, en affectant notre œil de cette impression vive que l'on nomme clarté, rend les objets visibles. Ce fluide réside, comme intermède, entre l'objet visible et l'organe qui en reçoit l'impression et il occupe, par lui-même et par son action l'intervalle qui les sépare. Ce qui rend la clarté, ce qui rend les objets visibles est donc une matière, dont l'action peut être plus ou moins forte suivant les circonstances. »

Cette définition, adoptée en 1781 par l'Académie royale des sciences (Brisson, 1781), intègre différents éléments conceptuels permettant d'envisager une explication de la vision rationnellement acceptable du point de vue du rôle de la lumière. Elle est l'aboutissement d'un cheminement rationnel de pensée qui passe par l'élaboration d'un certain nombre de principes, celui de la diffusion notamment, et par l'observation raisonnée de quelques phénomènes tels que l'éblouissement et la dilatation pupillaire de l'œil. C'est ce cheminement que nous souhaitons retracer ici.

Entre le V^e siècle avant J.-C. et le II^e siècle après J.-C., la vision fait l'objet d'interprétations diverses et antagonistes. Les penseurs de l'Antiquité qui se sont interrogés sur la manière dont on voit se sont rapidement heurtés au problème du « sens » de la vue. Au V^e siècle avant J.-C., deux théories coexistent (et s'affrontent parfois) : d'une part, celle d'une émission depuis l'œil (théorie de l'extramission) défendue par les platoniciens et par les stoïciens et d'autre part, celle de la réception dans l'œil de quelque chose provenant de l'objet (théorie de l'intromission), soutenue par les atomistes. Pendant près de vingt siècles, et malgré les avancées remarquables de l'optique arabe du XI^e siècle, l'optique physique et physiologique sera témoin de l'une des plus longues controverses de son histoire.

Les premiers savants arabes qui s'intéressent à l'optique se mettent à l'école des auteurs grecs. A la suite d'Aristote (*De l'âme*, 1989 ; *De la sensation et des sensibles*, 2000), Alhazen (*Livre de l'optique*, 1989 ; *Le discours de la lumière*, 1968) rejette de façon radicale les théories extramissionnistes du « rayon visuel » ; il va également s'affranchir des interprétations des atomistes tout en conservant l'idée de réception par l'œil d'un *quid* venant de l'objet. Dans son *Livre de l'optique* (*Kitab al Manazir*), Alhazen expose la démarche qui, de la controverse portant sur le sens de la vue, le conduit à formuler une explication révolutionnaire du mécanisme de la vision, dans laquelle la lumière devient le médiateur invisible entre l'objet et l'œil de l'observateur.

Alhazen va donc prendre part aux débats qui opposent extramissionnistes et intromissionnistes, en analysant avec soin chacune des idées en jeu dans le débat, et se positionne clairement en faveur des théories de l'intromission. L'unité de fonctionnement sensoriel défendue par Aristote dans son

traité *De l'âme* semble avoir joué un rôle déterminant dans la posture adoptée par Alhazen. Rappelons que, d'après Aristote, les sens fonctionnent selon un principe unificateur, celui de la « passion » :

« La sensation consiste à être mû et à pâtir (...). C'est moyennant une passion subie par l'organe que se produit la sensation » (Aristote, *De l'âme*).

Ainsi, la sensation est-elle « l'acte commun du sensible et du sentant ». Par sensible, il faut entendre tout ce qui provient des objets et qui provoque la sensation ; par sentant, les organes des cinq sens lorsqu'ils sont le lieu de la sensation. Appliqué à la vision, ce schème sensitif fait de la vision une « passion » dans laquelle le sentant est l'œil et le sensible la couleur.

Alhazen précise ensuite les conditions qui permettent à la vue de s'exercer. Ainsi un objet peut être vu directement s'il existe un espace ininterrompu et non opaque entre l'œil et l'objet ; si l'on peut conduire des lignes droites imaginaires depuis cet objet vers l'œil et enfin, si de la lumière est présente à la surface de cet objet (nous parlerions aujourd'hui d'impact lumineux). Dans ce dernier cas la lumière présente sur l'objet, la « lumière accidentelle » (Alhazen), envoie dans toutes les directions une « lumière secondaire » accompagnée de la couleur de l'objet. La « lumière accidentelle » est créée par la lumière qui atteint l'objet depuis une source lumineuse, « lumière primaire », ou depuis un autre objet éclairé. Un objet opaque se comporte donc comme une source lumineuse. Le phénomène de la *diffusion* vient d'être interprété pour la première fois. Pour Alhazen, la lumière d'une source lumineuse apparaît sur les corps opaques éclairés, elle s'y fixe et donne naissance à une « lumière secondaire ». Puis Alhazen propose toute une série d'expériences qui tendent à prouver que la lumière et les couleurs affectent la vue et provoquent certains effets sur l'œil :

« L'œil est blessé lorsqu'il regarde une source de lumière très intense, l'œil conserve pendant un certain temps la forme et la couleur d'un objet fortement éclairé, la vue est perturbée si la lumière de l'objet est trop forte ou trop faible ou si une lumière intense éclaire les yeux ou le milieu intermédiaire situé entre l'œil et l'objet » (*Kitab al Manazir*, livre I, chapitre 6, notre traduction).

En fait, et aussi paradoxal que cela puisse paraître, le problème de l'éblouissement semble être au fondement des théories de la vision développées par Alhazen. Pour lui, si la lumière blesse l'œil et perturbe la vue, c'est qu'elle a un effet particulier sur l'œil et sur la vue.

Et pour en déduire que la lumière est le *stimulus* de la vue, il raisonne non seulement sur la lumière en tant qu'objet conceptuel, mais sur la quantité de lumière que les objets (lumineux par eux-mêmes ou par diffusion) envoient vers l'œil :

« Les effets de la lumière sur l'œil sont de même nature que ceux de la douleur. Mais de même que certaines douleurs sont insupportables, d'autres, au contraire, lorsqu'elles sont plus faibles, ne gênent en rien l'organe qui les supporte. De telles douleurs ne sont alors pas perceptibles. Le fait qu'une lumière intense blesse les yeux est la preuve que lumière et douleur sont de même nature. Par conséquent, quels que soient ses effets, perceptibles ou non, ceux provoqués par la lumière sur l'œil sont tous

de même nature et ce qui change ce n'est que le plus ou moins. Une lumière faible et modérée n'est pas ressentie comme de la douleur, tandis qu'une forte lumière provoque de la douleur. *La seule chose qui change, c'est le plus ou le moins.* » (*Kitab al Manazir*, livre I, chapitre 6, c'est nous qui soulignons).

Autrement dit, l'œil a la sensation de l'éclairement, et cette sensation est commandée par la quantité de lumière qui pénètre l'œil ; l'œil voit l'objet lorsque la quantité de lumière provenant de cet objet n'est ni trop forte, ni trop faible. C'est donc par un traitement quantitatif qu'Alhazen parvient à poser la lumière comme *stimulus* de la vue.

Malgré un argumentaire très expérimental, certains principes énoncés par Alhazen relèvent d'une géniale intuition et non d'une induction empiriste. Ainsi en est-il de la doctrine selon laquelle la lumière est le *stimulus* de la vue. Nous l'avons déjà évoqué, cette doctrine n'est pas une évidence de sens commun. Dire que la lumière entre dans l'œil, même lorsque l'on n'est pas ébloui, et que c'est grâce à cela que l'on voit nécessite la réalisation d'un saut conceptuel dont Alhazen est à l'origine. L'agent médiateur de la vue, celui qui fait le lien entre l'œil et l'objet, est identifié à une entité invisible qui, dans le cas de la vision ordinaire, ne provoque pas d'effet sensible. Tout le génie d'Alhazen réside selon nous dans le fait d'avoir su créer un objet conceptuel (la lumière) qui se prête au jeu d'une intuition quantitative, un objet dont il est possible de parler en termes de plus ou moins. Si l'on s'en tient à une explication de la vision destinée aux élèves de collège, la proposition d'Alhazen exposée ici demeure suffisante et conforme aux exigences scientifiques actuelles.

ACTION DIDACTIQUE

Notre action didactique consiste en la réalisation et en l'analyse d'une séance d'enseignement construite à partir des éléments historiques présentés dans la section précédente et agencés dans une perspective didactique. Cette séance propose l'exploitation d'une courte scène dialoguée que l'une de nous (de Hosson) a elle-même créée (cf. annexe), intégrée à un scénario didactique approprié.

Présentation du *Dialogue sur les manières dont s'effectue la vision*

Le texte est une conversation entre trois personnages qui débattent de la façon dont s'effectue la vision. C'est donc un texte essentiellement argumentatif. Les protagonistes de notre dialogue portent les mêmes noms que ceux du *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* de Galilée, et remplissent une fonction à peu près identique : Simplicio joue le rôle du

contradictoire, Sagredo celui du médiateur, quant à Salviati il est le détenteur de l'autorité. Dans l'échange, Sagredo reste prudent. Son discours est sans cesse modéré par des expressions telles que « sans doute », « il semble que ». Simplicio, quant à lui, est beaucoup plus affirmatif et catégorique. En outre, il s'emporte facilement.

Nous avons essayé de construire un texte qui soit à la fois scientifique et littéraire. Le discours prend les allures d'une conversation plutôt cordiale. Les opinions sont librement exprimées, et la conversation s'achève sur un consensus acquis grâce à la contribution de chacun. Nous avons choisi d'écrire notre dialogue dans un style qui indique explicitement aux élèves que la conversation se déroule dans le passé. Cette modalité d'écriture est pour nous un moyen de signaler aux élèves que les idées dont il est question dans le texte ont réellement existé. Lorsqu'ils reconnaîtront leurs pensées dans celles qu'expriment nos personnages, nous pourrions alors bénéficier des avantages pédagogiques d'un procédé d'identification. En outre, nous avons pris soin, dans la mesure du possible, d'associer leurs idées aux savants qui les représentent, à savoir à Lucrèce (*De rerum natura*, 1985), à Aristote et à Alhazen.

La structure générale du texte est inspirée de la reconstruction historique que nous avons présentée plus haut. Chaque étape de la réflexion s'appuie sur les éléments qui, de notre point de vue, constituent les idées clés d'une élaboration rationnelle du mécanisme optique de la vision, à savoir :

- Les cinq sens fonctionnent sur un principe identique : un organe spécifique est sensible à un *stimulus* extérieur ;
- Une lumière trop forte « blesse » les yeux ;
- Les objets ordinairement éclairés renvoient une partie de la lumière qu'ils reçoivent ;
- Un peu de la lumière renvoyée par les objets ordinairement éclairés pénètre dans l'œil de l'observateur.

Ces idées clés forment l'ossature autour de laquelle notre dialogue s'organise. Celui-ci intègre également une part des raisonnements spontanés des élèves à propos de la vision et du rôle de la lumière dans la vision. Notre texte débute par la polémique autour du sens de la vue. Progressivement il va amener les élèves à construire une explication du mécanisme de la vision qui s'appuie sur une nouvelle idée de la lumière. Nous avons cherché à aménager des transitions en créant des filiations entre des idées qui nous semblaient parfois indépendantes les unes des autres, de façon à rendre le passage de l'une à l'autre plus aisé. L'organigramme ci-dessous (voir figure 2) rend compte de l'architecture générale du dialogue, des transitions (le plus souvent sous forme de sauts conceptuels) et des paliers de raisonnement :

tation, non pas lors d'une séance de classe, mais au cours d'entretiens réalisés avec six binômes d'élèves de quatrième interrogés successivement, avant enseignement de l'optique. L'orientation de notre investigation trouve son point d'ancrage dans une réflexion méthodologique plus large centrée sur les « séquences d'enseignement-apprentissage » (Méheut & Psillos, 2004).

Notre objectif est de pouvoir valider un certain nombre d'hypothèses locales dont les résultats seraient transposables à une situation réelle de classe. L'analyse que nous présentons ici tient compte des principes qui fondent ce que Komorek et Duit appellent une *teaching experiment* (expérience d'enseignement) (Duit, 2000 ; Komorek & Duit, 2003). Cette méthode de recherche permet d'approcher de façon assez précise l'activité de l'élève, ses questionnements, ses réactions. En outre, elle constitue une base pour l'élaboration d'une séance de classe. Bien entendu, nous assumons ici le rôle de l'interviewer et celui de l'enseignant.

	Explicitation du contenu du texte	Anticipation des réactions des élèves
Etape 1 : Polémique autour du sens de la vue (A→B).	Simplicio et Salviati sont réunis à l'initiative de Sagredo qui souhaite comprendre « comment se fait la vision ». Simplicio soutient que la vue s'exerce dans un sens œil→objet. Sagredo quant à lui cite les atomistes grecs et évoque un sens objet→œil. Salviati ne donne pas de réponse mais pose le problème de la vision « comme le résultat d'une passion ».	Les élèves sont invités à exprimer leurs idées à propos du fonctionnement de la vision (avant lecture). Nous nous attendons à ce que certains d'entre eux s'opposent sur le sens de la vue. La lecture du début du dialogue devrait les amener à s'identifier avec Simplicio ou avec les savants grecs cités par Sagredo.
Etape 2 : Unité de fonctionnement des cinq sens (A→B).	Salviati fait appel à l'autorité d'Aristote et propose trois exemples (ouïe, odorat, goût) en associant pour chaque sens concerné l'organe sensoriel à son <i>stimulus</i> . Simplicio et Sagredo admettent que la vue fonctionne sur le mode de la passion (raisonnement par analogie). S'ensuit alors la question de l'identification du <i>stimulus</i> de la vue.	Les exemples choisis par Salviati devraient aider les élèves à accepter l'idée que la sensation s'explique par l'action d'un agent extérieur sur un organe spécifique. On s'attend alors à ce qu'ils s'interrogent sur la nature de ce qui entre dans l'œil pour expliquer la vision.
Etape 3 : Le phénomène de l'éblouissement (B→C)	Salviati évoque une situation d'éblouissement.	L'évocation d'une situation d'éblouissement par Salviati devrait conduire les élèves à admettre que la lumière a un effet sur l'œil.
Etape 4 : Traitement quantitatif de la lumière et diffusion (C→D).	L'idée que l'œil est sensible à la lumière déstabilise Sagredo et Simplicio qui conclut : « l'entrée de lumière dans l'œil empêche de voir ». Salviati prépare le saut conceptuel qui permettra à Simplicio et Sagredo d'admettre que l'entrée de la lumière dans les yeux ne s'accompagne pas toujours d'une gêne. Il recourt à un raisonnement par analogie avec l'ouïe pour faire accepter la relation entre « entrée d'une lumière modérée » et « vision ». Sagredo semble réceptif au raisonnement de Salviati, Simplicio le rejette en argumentant que les objets que l'on voit n'envoient pas de lumière.	Détour par le problème du renvoi de la lumière par les objets ordinairement éclairés (hors lecture). Nous nous attendons à ce que les élèves parlent d'un seuil en dessous duquel un objet éclairé ne renvoie plus de lumière. Ce seuil devrait correspondre au cas où ils ne sont plus éblouis par l'objet : « la lumière reste sur l'objet ». Après discussion, certains d'entre eux pourront être sensibles à l'analogie avec l'ouïe proposée par Salviati.
Etape 5 : Diffusion et modèle de la vision (D→E).	Salviati propose à Simplicio et Sagredo de suivre son raisonnement, inspiré par la théorie d'Alhazen, où sont associés « une lumière très intense » à l'éblouissement, et « une lumière ni trop forte ni trop faible » à la vision. Par ailleurs, Sagredo déduit que le fait de voir implique que les objets éclairés renvoient continuellement la lumière qui les éclaire.	Ils peuvent admettre qu'un objet éclairé renvoie une partie de la lumière qu'il reçoit alors même qu'ils ne se rendent pas compte de son arrivée dans l'œil et que c'est cela qui rend cet objet visible et non le simple fait d'être éclairé. Ils accepteraient de passer d'un raisonnement discontinu en « tout ou rien » à un raisonnement continu en « trop », « pas assez », « suffisamment ».

Tableau 1 • Séquence d'enseignement articulée autour du *Dialogue*, associé aux effets didactiques attendus

La conduite de l'entretien est présentée sous la forme d'un scénario fondé sur une lecture suivie du texte. Elle s'appuie sur la progression schématisée par l'organigramme de la figure 2 et reprise dans le tableau 1. Les différentes étapes de lectures sont figurées directement dans le texte par les repères A, B, C, D et E. Pour chacune de nos questions ou interventions, nous indiquons les réactions probables ou les effets supposés. Ces associations a priori (question / réaction) constituent les hypothèses que nous souhaitons mettre à l'épreuve de l'expérimentation. Enfin chaque entretien est prévu pour une durée d'une heure (lecture du *Dialogue* et entretien avec un binôme).

D'une façon plus générale, nous entendons montrer que notre texte suscite l'intérêt, non seulement par sa forme, mais également par la possibilité qu'il offre aux élèves de se projeter dans le débat exposé. Sur ce point, nous chercherons à savoir s'ils sont sensibles à la dimension historique du *Dialogue* en leur demandant à la fin de l'entretien et de façon ouverte leur avis sur le texte.

Analyse des entretiens

Nous proposons une synthèse des discussions que nous avons enregistrées puis retranscrites. Les résultats obtenus ne concernent que les 12 élèves que nous avons interviewés. Par conséquent, ils ne peuvent pas faire l'objet d'une quelconque généralisation. Malgré tout, ils nous permettront sans doute de dégager un certain nombre de pistes de réflexion pour une utilisation ultérieure de notre *Dialogue* en séance de classe.

1^{re} PHASE : EXPLICATION SPONTANÉE DU MÉCANISME DE LA VISION

Globalement, la moitié des élèves (6 sur les 12 interrogés) explique la vision par l'envoi de « quelque chose » depuis l'œil, désigné par les termes « vision », « regard » ou encore un « radar ». Trois élèves disent que l'œil reçoit une « image » ou un « truc » de la part de l'objet. La lumière n'est spontanément évoquée que par un élève. Celui-ci interprète la vision d'une façon tout à fait satisfaisante : « la vue c'est la lumière qui entre dans l'œil ». Son explication est néanmoins rejetée par sa camarade ; selon elle, si la lumière entre dans les yeux, on est ébloui. Etienne et Julie (binôme 5) ne s'opposent pas sur le sens de la vue (ils l'envisagent tous les deux dans le sens objet→œil), mais sur la nature de l'entité qui, partant de l'objet, pénètre dans l'œil. Pour Etienne il s'agit de la lumière, pour Julie d'une image. Dans trois binômes (sur les six concernés par notre recherche) les élèves expriment des opinions contradictoires. Suite à ces échanges, les élèves restent chacun

avec leur conception du « sens » de la vue. Cinq élèves expliquent la vu dans un sens œil→objet, cinq dans un sens objet→œil. Deux ne proposent aucune explication.

2^e PHASE : LES CINQ SENS FONCTIONNENT SUR UN PRINCIPE IDENTIQUE, CELUI DE LA « PASSION »

Nous leur proposons de lire le début du *Dialogue*, depuis « Je vous ai réunis aujourd'hui... » (A) jusqu'à « des odeurs dans le nez » (B). Suite à cette première période de lecture, certains élèves ne manquent pas de souligner qu'ils reconnaissent leurs avis (et leur désaccord) dans les idées évoquées par les protagonistes de la conversation.

Notre objectif est ici d'amener les élèves à accepter que la vue fonctionne sur le même mode que tous les autres sens, à savoir que l'organe sensoriel est stimulé par un agent extérieur. Nous leur demandons s'ils sont d'accord avec Salviati pour affirmer que tous les sens fonctionnent de la même façon. Tous les élèves reconnaissent la « logique » de l'argumentation aristotélicienne et la comparaison explicite avec les autres sens s'avère probante. Parmi les cinq élèves qui avaient évoqué dans un premier temps l'idée d'un sens œil→objet, quatre disent qu'ils se sont finalement peut-être trompés. C'est le cas notamment d'Océane (binôme 3) : « je crois que je me suis trompée. Ça doit marcher comme le son. Il y a un truc qui rentre dans l'œil ».

Tous les élèves ayant changé d'avis sur le sens de la vue paraissent convaincus du bien-fondé du raisonnement de Salviati, mais ils se trouvent confrontés à la difficulté d'identifier l'entité censée pénétrer l'œil. Ainsi pour Florestan : « ce serait logique que tous les sens fonctionnent pareil, mais bon, c'est quoi le truc qui entre dans l'œil ? ». Annabelle (binôme 1) pose une question analogue : « je crois que c'est quelque chose qui entre dans l'œil, mais quoi ? Ça doit être quelque chose qu'on ne connaît pas encore ».

A l'issue de cette deuxième phase de l'entretien, 11 élèves (sur les 12 interrogés) semblent convaincus que la vision d'un objet résulte de l'action sur l'œil d'un agent extérieur provenant de cet objet. Le début du *Dialogue* a conforté les élèves qui avaient émis l'hypothèse d'un fonctionnement de la vue dans le sens objet→œil, et a convaincu la quasi-totalité de ceux qui suggéraient une émission depuis l'œil. Et même si l'identification du *stimulus* demeure très difficile, elle fascine tous les élèves.

3^e PHASE : LA SENSATION D'ÉBLOUISSEMENT

La deuxième phase de l'entretien s'achève donc sur la question de l'entité qui, partant des objets, entre dans l'œil. Nous proposons aux élèves de lire la réplique de Salviati depuis « nous avons la sensation du goût » (B)

jusqu'à « pendant dix secondes ? » (C) et de répondre à la question posée par Salviati.

Tous les élèves répondent que regarder le Soleil est insoutenable et dangereux. Certains associent la sensation d'éblouissement au simple fait de l'entrée de la lumière du Soleil dans les yeux. Pour Kevin (binôme 6), il est impossible de regarder fixement le Soleil car, dans ce cas, « la lumière vient dans nos yeux ». En revanche, pour trois binômes, les raisons invoquées rendent explicitement compte de l'excès de lumière qui arrive alors dans l'œil. Thomas (binôme 3) parle d'un « surplus de lumière sur la rétine ». Ces réponses laissent entrevoir les prémices d'un raisonnement quantitatif.

4^e PHASE : PEUT-ON ÊTRE ÉBLOUI PAR DES OBJETS ORDINAIRES ?

Nous leur demandons ensuite s'ils pensent pouvoir être éblouis par un objet et de décrire alors ce qu'il se passe. Nous entendons mettre en évidence, dans les raisonnements des élèves, l'existence subjective d'un seuil à partir duquel la lumière « resterait » sur l'objet vu. Cela signifierait que la diffusion n'est pas perçue comme un phénomène associé à l'éclairage, mais plutôt comme la manifestation d'un renvoi de lumière par les objets uniquement lorsque celle-ci est trop forte. A la question « pensez-vous pouvoir être ébloui par un objet ? », la plupart des élèves répond que c'est possible à condition que l'objet soit un miroir ou qu'il soit très fortement éclairé.

Pour Alexis, on est ébloui car la lumière « rebondit » sur l'objet et blesse l'œil. C'est également l'avis de Camille pour qui « la lumière vient sur l'objet, rebondit et agresse l'œil ». Conformément à ce que nous supposions, la majorité des élèves interrogés associe l'entrée de lumière dans l'œil à la sensation d'éblouissement. Pour ces élèves, le renvoi de la lumière par les objets est reconnu dans les situations où les objets aveuglent. Dans ces cas-là, la lumière est tellement « forte » qu'elle rebondit sur les objets. Autrement dit, il existe chez certains élèves un seuil à partir duquel la lumière n'est pas renvoyée par les objets, et ce seuil est déterminé par la seule perception sensorielle (le fait de ne plus être ébloui). Huit élèves (sur les 12 interrogés) disent que le moment où l'éblouissement cesse correspond au moment où la lumière « reste » sur l'objet. C'est le cas notamment de Kevin et de Florestan (binôme 6) :

Prof² : A votre avis, est-ce que, à part le Soleil, on peut être ébloui / par exemple, par un objet ? Est-ce que vous pourriez être éblouis par ce stylo, là ?

Florestan : Si la lumière est très forte, elle peut se refléter // Elle se reflète sur le stylo et elle entre dans l'œil, et on est ébloui.

Prof : Et à partir de quand on n'est plus ébloui ?

Florestan : Quand la lumière elle se reflète plus.

Kevin : *Elle reste* sur les objets.

(2) Dans chacun des extraits présentés ici, « prof » désigne les auteurs.

Pour ces élèves, le moment où la sensation d'éblouissement disparaît correspond au seuil à partir duquel la lumière ne rentre plus dans l'œil. Celui-ci coïncide, selon eux, avec le moment où les objets ne renvoient plus de lumière.

Quatre élèves expriment l'avis opposé. Pour eux les objets renvoient continuellement la lumière qu'ils reçoivent sans que l'on s'en rende compte. Ainsi pour Charles (binôme 2) : « *la lumière elle repart toujours mais on s'en rend pas compte, c'est comme si elle ne repartait pas, c'est très faible* ». A ce moment-là de l'entretien, nous n'avons pas les moyens de savoir si Charles fait le lien entre la vision et l'entrée de la lumière dans l'œil.

A l'issue de cette quatrième phase, deux élèves (Etienne et Thomas) interprètent la vision de façon conforme à nos attentes. Deux autres élèves (Camille et Charles) disent que les objets éclairés renvoient la lumière qu'ils reçoivent sans subordonner ce phénomène à une sensation de gêne ou d'éblouissement, mais nous ignorons si ces élèves font le lien entre la vision des objets et l'envoi de la lumière par les objets dans l'œil de l'observateur. En outre, parmi ces quatre élèves, deux (Camille et Etienne) appuient spontanément leur raisonnement sur un argument biologique lié au fonctionnement de la pupille. Par ailleurs, les huit autres élèves (c'est-à-dire la grande majorité) admettent que les objets renvoient la lumière uniquement lorsque celle-ci est suffisamment forte pour « rebondir ». Dans ce cas, elle pénètre l'œil de l'observateur qui est alors ébloui. L'entrée de la lumière dans l'œil serait, pour ces élèves, un facteur limitant pour la vue.

5^e PHASE : RAISONNER EN QUANTITÉ DE LUMIÈRE (ANALOGIE AVEC L'OUÏE)

Nous rappelons aux élèves que nous cherchons à comprendre comment fonctionne la vision. Puis nous les invitons à poursuivre la lecture du texte, depuis « Quelle idée ! » (C) jusqu'à « provoque l'ouïe » (D). Nous souhaitons mesurer les effets d'une analogie avec le mécanisme de l'ouïe. La deuxième phase de l'entretien nous a permis de constater que le rapprochement entre la vue et l'ouïe semblait poser quelques difficultés aux élèves. Certains parmi eux avaient notamment souligné qu'il leur paraissait difficile de trouver un équivalent du son pour la vue. A cette nouvelle phase de l'entretien, Kevin et Florestan (binôme 6) paraissent sensibles à l'analogie proposée par Salviati, même s'ils expriment une réserve :

- Kevin : Ben en fait // En fait, c'est faux ce qu'on a dit avant.
Prof : Comment ça ?
Kevin : Ben, les objets ils envoient toujours de la lumière, et c'est ça qui permet de voir.
Prof : Et on n'est pas ébloui alors ?
Florestan : Non, c'est une question de quantité / de quantité.
Prof : Expliquez-moi ça.
Florestan : Ben la vision // la vision, c'est quand de la lumière entre dans l'œil, mais pas trop. C'est un juste milieu.
Kevin : Mais, quand même, ce qui est bizarre c'est *qu'on s'en rend pas compte, alors que pour le son, on l'entend, mais la lumière, on la voit pas.*

L'analogie avec le sens de l'ouïe conduit Kevin et Florestan à proposer une explication du mécanisme de la vision correcte, dans laquelle la lumière est traitée de façon quantitative : « c'est une question de quantité » confirme Florestan. Il semble que pour ces deux élèves l'entrée de la lumière dans l'œil ne soit plus considérée comme la cause de l'éblouissement mais comme la cause de la vision. Kevin revient sur ces précédentes assertions (« les objets ne renvoient pas la lumière ») pour finalement affirmer que « les objets envoient toujours de la lumière » et que « c'est ça qui permet de voir ». Il réalise que cette interprétation « bizarre » demande un certain effort d'imagination : « on s'en rend pas compte », puisque le son n'est pas comparable à la lumière : « *le son on l'entend, mais la lumière on la voit pas* ». La « lumière » dont il est question ici ne désigne ni les sources ni les impacts lumineux, mais la « lumière qui se voit ». A son tour, Kevin affirme que la lumière est une entité invisible. Après cette période de lecture, Kevin, Florestan et Charles construisent une nouvelle idée de la lumière et de la vision, en rupture avec leurs conceptions initiales. De même en est-il pour Alexis (binôme 4) :

« C'est pas pareil que ce qu'on a dit avant. En fait, la lumière, elle rentre toujours dans les yeux quand on voit. C'est juste qu'elle rentre moins. Du coup, on la sent pas. »

Là encore, l'analogie avec le sens de l'ouïe conduit Pierre et Alexis à traiter la lumière de façon quantitative pour construire un modèle de la vision rationnellement acceptable. C'est une démarche identique qui permet à Océane (binôme 3) de rejoindre l'opinion de son camarade :

« Eh ben, il a raison, on sent pas la lumière, mais elle rentre dans l'œil quand même. C'est juste qu'il faut pas qu'il y en ait trop pour voir. C'est une question de quantité. »

A l'issue de cette cinquième phase d'entretien, neuf élèves (sur les douze concernés par notre expérimentation) reconnaissent que la lumière est le *stimulus* de la vue. L'analogie avec le sens de l'ouïe paraît les orienter vers un raisonnement dans lequel la lumière est traitée de façon quantitative. La diffusion devient pour ces élèves un phénomène associé à l'éclairement et non une conséquence de la grande quantité de lumière qui atteint l'objet. La majorité des élèves remet en cause l'existence d'un seuil commandé par une sensation d'éblouissement en deçà duquel la lumière ne serait plus renvoyée par les objets. L'éblouissement et l'entrée de la lumière dans l'œil deviennent des faits dont l'association n'est plus exclusive.

6^e PHASE : EXPLICATION DU MÉCANISME OPTIQUE DE LA VISION

Les entretiens se poursuivent par une dernière étape de lecture. Nous invitons les élèves à lire le texte jusqu'à la fin (depuis « Si je comprends bien » (D) jusqu'à « je suis séduit par votre théorie », E). Suite à cette lecture, nous leur demandons ce qu'ils pensent du raisonnement de Salviati. Tous les élèves qui, à l'issue de la phase précédente, expliquaient la vision de façon satisfaisante voient leur opinion confortée par les propos de Salviati, ce qui ne manque pas d'enthousiasmer un certain nombre d'entre eux.

Alors que la lecture du *Dialogue* s'achève, tous les élèves semblent admettre que la vision d'un objet nécessite l'envoi de lumière par cet objet dans les yeux de l'observateur. Cette sixième étape peut paraître plus transmissive que les précédentes puisque le modèle de la vision est présenté dans le texte par Salviati. Cependant, il nous semble important de rappeler que l'explication de Salviati est en fait, pour neuf des douze élèves interrogés, un support de confirmation. En outre, il convient de signaler qu'elle n'est pas donnée d'emblée, mais qu'elle constitue l'issue d'un itinéraire cognitif dans lequel tous les élèves se sont engagés. Or, pour trois d'entre eux, ce cheminement n'a certes pas abouti à la formulation d'une interprétation de la vision satisfaisante, mais il leur a permis de s'investir dans une démarche de recherche, de formuler des hypothèses illustrées par un certain nombre d'expériences de pensée. Au bout du compte, ces élèves se sentent concernés par le problème du mécanisme de la vision, ce qui leur permet de s'approprier une nouvelle idée de la lumière et de la vision. Le tableau 2 rend compte de ce résultat : les zones grisées désignent les élèves qui expliquent la vision de façon satisfaisante. Les noms en gras désignent les élèves qui expliquent la vision dans un sens objet→œil.

	Binôme 1 Annabelle et Camille	Binôme 2 Charles et Morgane	Binôme 3 Océane et Thomas	Binôme 4 Pierre et Alexis	Binôme 5 Etienne et Julien	Binôme 6 Kevin et Forestan
Explication spontanée du mécanisme de la vision	Camille : œil→objet vision	Charles : œil→objet radar	Océane : œil→objet vision	Pierre : Pas de réponse	Etienne : objet→œil lumière	Kevin : œil→objet radar
	Annabelle : œil→objet regard	Morgane : objet→œil image	Thomas : objet→œil truc	Alexis : Pas de réponse	Julie : objet→œil image	Forestan : objet→œil image
	Pas de Polémique	Polémique	Polémique		Polémique autour de la nature de l'entité	Polémique
Explication après l'argument de l'unité de fonctionnement des 5 sens	Camille : œil→objet vision	Charles : objet→œil ??	Océane : objet→œil ??	Pierre : objet→œil Forme	Etienne : objet→œil lumière	Kevin : objet→œil ??
	Annabelle : objet→œil ??	Morgane : objet→œil ??	Thomas : objet→œil lumière	Alexis : objet→œil Flash, couleur	Julie : objet→œil image	Forestan : objet→œil Image
Explication après l'expérience de pensée de l'éblouissement	Camille : objet→œil ??	Charles : objet→œil ??	Océane : objet→œil ??	Pierre : objet→œil Forme	Etienne : objet→œil lumière	Kevin : objet→œil ??
	Annabelle : objet→œil ??	Morgane : objet→œil ??	Thomas : objet→œil lumière	Alexis : objet→œil Flash, couleur	Julie : objet→œil image	Forestan : objet→œil Image
Explication après l'analogie avec le sens de l'ouïe	Camille : objet→œil ??	Charles : objet→œil lumière	Océane : objet→œil lumière	Pierre : objet→œil lumière	Etienne : objet→œil lumière	Kevin : objet→œil lumière
	Annabelle : objet→œil ??	Morgane : objet→œil ??	Thomas : objet→œil lumière	Alexis : objet→œil lumière	Julie : objet→œil lumière	Forestan : objet→œil lumière

Tableau 2 • Synthèse de l'évolution des raisonnements des élèves à propos du mécanisme de la vision

BILAN : LES ÉLÈVES ET LE *DIALOGUE*

L'objectif de cette dernière partie d'entretien est de recueillir l'avis des élèves sur le texte qu'il leur a été proposé. Nous leur avons simplement demandé si celui-ci leur avait semblé difficile, utile et pour quelles raisons. Leurs réponses viennent éclairer les questions relatives à la motivation suscitée par le texte. Elles sont à la fois riches et variées, mais elles peuvent faire malgré tout l'objet d'un traitement thématique qui met en évidence certaines récurrences (même si les élèves ne se prononcent pas tous sur des sujets identiques).

La spécificité littéraire du texte

À l'exception d'Annabelle qui trouve le *Dialogue* « difficile », les élèves le jugent plutôt accessible. C'est le cas par exemple de Thomas (binôme 3) :

« Un dialogue, là comme ça, c'est plus facile à lire, c'est aéré et ça donne envie de lire. Et puis, ce texte, il n'est pas trop dur finalement. Au début, j'ai eu un peu peur que ce soit comme du français ancien, difficile à comprendre. Et en fait, ça va, c'était facile. »

D'autres élèves apprécient, comme Thomas, le procédé littéraire utilisé, et disent préférer le *Dialogue* à d'autres types de textes habituellement utilisés en classe. Florestan (binôme 6) trouve le texte « moins ennuyeux que ceux de d'habitude parce que c'est une discussion ».

La dimension métacognitive

Certains élèves reconnaissent spontanément avoir appris quelque chose et avouent être troublés par le fait que ce savoir nouvellement acquis soit en opposition avec ce qu'ils pensaient initialement. Pour Annabelle (binôme 1) : « l'entretien est perturbant parce qu'on arrive avec une idée et on ressort avec une autre ». Ce qui est intéressant c'est que lorsqu'on leur pose clairement la question, ces élèves sont capables de préciser à quel moment de la lecture ou de l'entretien ils pensent avoir compris le mécanisme optique de la vision. Annabelle explique que « quand on sait que les sens fonctionnent de la même façon, ça aide ». Pierre (binôme 4) quant à lui affirme qu'il a compris « quand ils parlent de l'éblouissement ».

La dimension transdisciplinaire

Quelques élèves s'attachent à la dimension transdisciplinaire du *Dialogue*. Ils remarquent que celui-ci se trouve au carrefour de plusieurs disciplines, et présentent cet aspect comme un argument favorable ainsi que le montre ce commentaire d'Étienne (binôme 5) :

- Étienne : Moi je pense qu'un texte comme ça, ça donne de la cohérence aux matières.
Prof. : C'est-à-dire ?
Étienne : Eh bien, ça fait un lien avec l'histoire-géo par exemple. Parce qu'on s'embrouille quand on change toujours de sujet.

À ce propos, Florestan précise que ce type de support « pourrait être utilisé en français », et il ajoute que « ça changerait de faire de la physique en français ». Camille suggère, quant à elle, qu'il pourrait être « intéressant d'étudier l'époque de la discussion en même temps en cours d'histoire ». Ces élèves semblent particulièrement sensibles au fait que le texte puisse potentiellement favoriser des liens entre certaines disciplines scolaires.

La dimension historique : l'identification aux savants disparus

Huit élèves reviennent sur la dimension historique du *Dialogue*, dimension qui, selon eux, présente de nombreux avantages. La controverse historique telle que nous l'avons mise en scène dans notre texte permet aux élèves d'avoir accès à la pensée des anciens, ce que la plupart paraît apprécier, comme Julie (binôme 5) : « C'est intéressant de parler des gens, avant, de ce qu'ils ont fait / ce qu'ils pensaient » ou Kevin : « Ce qui est marrant, c'est qu'on disait la même chose qu'eux ». L'intérêt pour la pensée du savant disparu est également souligné par Océane (binôme 3) :

« Moi j'ai bien aimé. C'est de l'histoire des sciences et c'est bien parce que ça sert à savoir ce que les autres pensaient avant. En plus, moi ce que j'ai dit tout à l'heure [l'œil envoie une vision], c'était comme le début du texte alors ça me rassure de voir qu'il y en a qui ont pensé pareil. »

L'argument développé par Océane montre que l'opportunité qui est offerte aux élèves de pouvoir s'identifier aux personnages du texte a quelques effets positifs. D'une part, le fait qu'ils puissent rapprocher leurs conceptions des idées des anciens semble leur permettre de dédramatiser la portée de leur erreur (Balibar, 1993) ou, sur un registre identique, de valoriser leurs réponses lorsque celles-ci sont correctes. C'est en tout cas l'opinion d'Étienne (binôme 5) :

« Moi je savais que les théories du début étaient fausses et ça fait plaisir de contredire un savant et d'avoir raison. »

Par le jeu de l'identification au savant disparu, notre dialogue devient un outil de valorisation performant, mais également un moyen de progresser, comme l'identifie Morgane (binôme 2) : « en fait, comparer par rapport à avant comment on a compris, ça peut aider après si on a les mêmes problèmes qu'eux ». Parce qu'elle est témoin du cheminement ayant conduit à l'élaboration d'une explication optique de la vision, la perspective historique (mise en scène de cette manière) constitue donc pour certains élèves une aide pour comprendre comment les connaissances se sont construites. Par ailleurs, ce qui nous paraît fondamental, c'est que les personnages du texte soient reconnus comme les tenants de théories ayant existé. Autrement dit, le

Dialogue ne semble pas perçu par les élèves comme un inventaire d'idées fictives sans attache historique, mais bien comme la mise en scène crédible d'une polémique qui aurait réellement pu se tenir dans le passé.

Le Dialogue en classe

Nous avons testé notre outil d'enseignement en situation réelle de classe avec des élèves de quatrième avant enseignement d'optique. Sans entrer dans les détails d'une analyse que nous ne pouvons présenter ici, nous tenons toutefois à en donner succinctement quelques résultats. Il nous est très vite apparu que l'appropriation du texte par les élèves en groupe classe (et non plus en binôme) nécessite un accompagnement spécifique, tant du point de vue de la difficulté de certains termes ou expressions utilisés, que du point de vue de la singularité de la structure argumentative du dialogue et du rôle joué par les trois personnages. Chaque phase de lecture semble indissociable d'une phase d'analyse littéraire qui certes ne pourra être que brève, mais qui s'avère néanmoins nécessaire. En outre, il paraît important que les élèves puissent préciser, dès la première phase de lecture, la forme du texte proposé (ainsi que les raisons pour lesquelles cette forme est utilisée). L'enjeu de la discussion et le rôle supposé des trois personnages doivent également être connus. Pour ce qui est du parcours cognitif lui-même, nous n'avons pas noté de différence essentielle entre les élèves de nos entretiens et les élèves en groupe classe. Les discussions sont animées et conduisent aux mêmes débats, aux mêmes questionnements, et finalement aux mêmes conclusions. Comme leurs camarades, ces élèves apprécient le dialogue et la façon dont la séance s'organise autour du texte.

CONCLUSION

Ce travail nous offre l'occasion de nous pencher sur la question des analogies supposées entre développement historique des idées et processus individuel d'acquisition des connaissances scientifiques. Dans son traité d'optique, Alhazen s'appuie sur une situation d'éblouissement pour convaincre le lecteur que la lumière a un effet sur l'œil. Cette constatation empirique le conduit à interpréter la vision comme le résultat de l'entrée de la lumière, renvoyée par l'objet éclairé, dans l'œil de l'observateur. L'évocation d'une situation d'éblouissement amène la majorité des élèves à conclure que l'entrée de la lumière dans l'œil empêche de voir (de Hosson, 2004). Ce qui apparaît comme une condition historique de développement des idées en optique constitue, pour les élèves, un obstacle majeur à la compréhension du mécanisme de la vision. Ainsi donc, il n'est pas question ici de soumettre la progression cognitive des élèves au développement historique des théories, pas plus qu'il ne s'agit de considérer les conceptions des élèves comme iden-

tiques aux idées élaborées par les savants disparus. Toutefois, quel que soit le médiateur envisagé, force est de constater que le cheminement qui conduit à reconnaître que la lumière est le *stimulus* de la vue passe par le franchissement de certains obstacles, notamment celui de la controverse autour du « sens » de la vue. Sur ce point, nous avons pu profiter d'une ressemblance anticipée entre les idées des savants et les conceptions des élèves pour permettre une probable identification de ces derniers aux personnages du texte qui proposé. Par ailleurs, la structure du scénario didactique, intégrant le *Dialogue sur les manières dont se fait la vision*, tient compte d'un autre obstacle qui paraît très largement sous-estimé, à savoir que les élèves interprètent l'impact lumineux à la surface d'un objet éclairé en pensant que la lumière « reste » sur l'objet.

Dans les faits, le *Dialogue sur les manières dont se fait la vision* se révèle comme un support d'enseignement motivant. Les élèves apprécient le procédé littéraire utilisé et semblent particulièrement sensibles au fait qu'il facilite l'apprentissage par une approche pédagogique transdisciplinaire. L'association entre littérature et histoire et sciences, qu'ils soulignent, leur paraît efficace et souhaitable. Mais l'aspect le plus stimulant demeure sans aucun doute la possibilité qui leur est offerte de s'identifier aux savants disparus. Elle permet en effet aux élèves de considérer leurs erreurs comme les témoins d'une difficulté que les anciens ont partagée, ce qui en change complètement le statut. Leur opinion première devient donc une étape dans la construction de nouvelles connaissances. Par ailleurs, cette identification aux personnages du *Dialogue* permet de mettre en valeur certains de leurs raisonnements lorsque ceux-ci s'avèrent exacts.

Un dernier élément mérite d'être souligné. Les élèves semblent majoritairement conscients du cheminement intellectuel qui les conduit à formuler une nouvelle explication du mécanisme optique de la vision. La plupart d'entre eux réalise que leurs idées évoluent au cours de l'entretien, certains sont capables de dire spontanément, et de façon assez précise, à quel moment et pour quelles raisons ils modifient leurs conceptions. Cet aspect métacognitif prend une part sans doute plus importante que celle que nous avons anticipée. Ajoutons que ces conclusions prometteuses concernent tous les élèves ayant participé à nos entretiens, alors que ceux-ci étaient de niveaux scolaires très hétérogènes.

BIBLIOGRAPHIE

ALHAZEN (1968). Le discours de la lumière (traduction R. Rashed). *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, n° 21, p. 197-224.

ALHAZEN (1989). *Kitab al-manazir* (traduction A. Sabra), livres I-III. London: University of London.

- ANDERSON B. & KARRQVIST C. (1983). How Swedish pupils aged 12-15 years understand lights and its properties. *European Journal of Science Education*, n° 5, p. 387-402.
- ARISTOTE (1989). *De l'âme* (traduction E. Barbotin). Paris : Les Belles Lettres.
- ARISTOTE (2000). *De la sensation et des sensibles* (traduction P. Morel). Paris : Flammarion.
- AUDIGIER F. & FILLON P. (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques : une approche pluridisciplinaire*. Paris : INRP.
- BALIBAR F. (1993). L'histoire des sciences, pour une école de pensée critique. *La culture scientifique et technique pour les professeurs des écoles*. Paris : Hachette, p. 37-42.
- BENSEGHIR A. & CLOSSET J.-L. (1993). Prénance de l'explication électrostatique dans la construction du concept de circuit électrique. *Didaskalia*, n° 2, p. 31-47.
- BRISSON M.-J. (1781). *Dictionnaire raisonné de physique*. Paris : Académie royale des sciences.
- CHAUVET F. (1994). *Construction d'une compréhension de la couleur intégrant sciences, techniques et perception : principes d'élaboration et évaluation d'une séquence d'enseignement*, thèse, université Paris 7.
- DUIT R. (2000). A model of education reconstruction as a framework for desining and validating teaching and learning sequences. *International Symposium "Desining and validating Teaching-Learning sequences in a research perspective"*, Paris.
- FEYERABEND P. (1975). *Contre la méthode, esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*. Paris : Éd. du Seuil.
- GALILEE (1632). *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* (réédition en 1992). Paris : Éd. du Seuil.
- GALILI I. (1996). Student's conceptual change in geometrical optics. *International journal of science education*, vol. 18, n° 7, p. 847-868.
- GUEDJ M. (2005). Utiliser des textes historiques dans l'enseignement des sciences physiques : compte rendu d'expérimentation. *Didaskalia*, n° 26, p. 75-96.
- GUESNE E. (1984). Les conceptions des enfants sur la lumière. *New trends in physics teaching*, vol. 4.
- HOSSON C. (DE) & KAMINSKI W. (2002). Les yeux des enfants sont-ils des porte-lumière ? *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 96, p. 143-162.
- HOSSON C. (DE) (2004). *Contribution à l'analyse des interactions entre histoire et didactique des sciences : élaboration d'un support d'enseignement du mécanisme optique de la vision pour l'école primaire et le collège, et premiers éléments d'évaluation*, thèse, université Paris 7.
- KAMINSKI W. (1989). Conceptions des élèves (et autres) sur la lumière. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 176, p. 973-996.
- KOMOREK M. & DUIT R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, vol. 26, n° 5, p. 619-632.
- LA ROSA C., MAYER M., PATRIZI P. & VICENTINI MISSONI M. (1984). Commonsense knowledge in optics: preliminary results of an investigation on the properties of light. *European Journal of Science and Mathematics*, vol. 3, p. 268-77.
- LAUGIER A. & DUMON A. (2003). Obstacles épistémologiques et didactiques à la construction du concept d'élément chimique : quelles convergences ? *Didaskalia*, n° 22, p. 69-98.
- LINDBERG D. (1976). *Theory of vision from al Kindi to Kepler*. Chicago, London: University of Chicago Press.
- LUCRECE (1985). *De Rerum Natura* (traduction A. Ernout). Paris : Les Belles Lettres.
- MEHEUT M., KERMEN I. & DUPREZ C. (2004). Approches historique et didactique de la réverbilité. *Didaskalia*, n° 25, p. 31-58.

- MEHEUT M. & PSILLOS D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, vol. 26, n° 5, p. 515-535.
- MERLE H. (2002). Histoire des sciences et sphéricité de la Terre : compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, n° 20, p. 115-136.
- OSBORNE J. & BLACK P. (1993). Young children's (7-11) ideas about light and their development. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 1, p. 83-93.
- PARK D. (1997). *The fire within the eye: a historical essay on the nature and meaning of light*. Princeton: Princeton University Press.
- RASHED R. (1997). « L'optique géométrique ». In *Histoire des sciences arabes*. Paris : Éd. du Seuil, p. 293-354.
- RONCHI V. (1956). *Une histoire de la lumière*. Paris : Colin.
- SALTIEL E. & VIENNOT L. (1985). *What do we learn from similarities between historical ideas and the spontaneous reasoning of students?* Utrecht : GIREP.
- SIMON G. (1988). *Le regard, l'être et l'apparence dans l'optique de l'Antiquité*. Paris : Éd. du Seuil.
- TIBERGHEN A. (1983). « Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens de la notion de lumière chez les enfants de 10 à 16 ans ». In *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international d'été*. La Londe les Maures : CNRS, p. 125-136.
- VIENNOT L. (2002). *Raisonnement en physique, la part du sens commun*. Paris-Bruxelles : De Boeck.

Cet article a été reçu le 05/09/2005 et accepté le 15/02/2006.

ANNEXE

Dialogue sur les manières dont se fait la vision - Cécile de Hosson

[A] Sagredo : Je vous ai réunis aujourd'hui afin que nous discussions ensemble de la manière dont se fait la vision.

Simplicio : Je crains, mon cher ami, que notre discussion ne soit difficile, car je crois savoir que Salviati et moi-même sommes en désaccord sur ce point. Pour ma part, les raisons de la vision résident dans l'œil. Comme le suggèrent de nombreux savants de l'Antiquité, je crois que pour voir un objet, l'œil doit envoyer quelque chose vers cet objet. C'est ainsi, voyez-vous, que je conçois que l'on voit les objets qui nous entourent, par ce pouvoir que nous avons d'émettre quelque chose qui, sortant des yeux, va à la rencontre des objets à regarder.

Sagredo : Il me semble que tous les Grecs ne raisonnaient pas ainsi. N'est-il pas exact que Lucrèce et d'autres avant lui expliquent la vision d'un objet par l'entrée dans l'œil d'une image de cet objet ?

Salviati : Sachez avant toute chose, que je me réjouis de vous parler de Lucrèce. Ses textes sont d'une beauté qui chaque fois m'émeut. Et si vous ne partagez guère son opinion, j'espère au moins que vous saurez apprécier la grandeur de sa poésie.

Sagredo : Ne nous faites pas attendre davantage.

Salviati : Voilà : « De tous les objets, il existe ce que nous appelons les simulacres : sortes de membranes légères détachées de la surface des corps, qui voltigent en tout sens parmi les airs. Ce sont des figures, des images qui sont émises par les objets. On en voit d'ailleurs beaucoup émettre de leurs éléments, comme la fumée du bois vert ou la chaleur de la flamme, ou encore comme les tuniques que les cigales abandonnent en été. Ou encore, comme les voiles jaunes, rouges ou verts, qui tendus dans les vastes théâtres au-dessus du public et éclairés par des torches ou par la lumière du jour, colorent la scène de leurs reflets ».

Simplicio : Cette théorie me semble absurde : comment pouvez-vous expliquer que des effluves détachés d'objets immenses, comme des montagnes, par exemple, puissent pénétrer dans notre œil, qui est lui, tout petit ?

Salviati : J'aimerais vous rappeler qu'en vous exposant les idées de Lucrèce je n'ai fait que répondre à la demande de Sagredo. Je ne vous ai jamais dit que je les partageais. Elles présentent en effet certaines incohérences mais néanmoins, elles me semblent plus proches de ma théorie personnelle que la vôtre.

Sagredo : Vous pensez donc que si l'on voit c'est que les objets envoient des images d'eux-mêmes dans nos yeux ?

Salviati : Ce n'est pas ce que je dis. Néanmoins, je retiens de cette théorie qu'elle pose le problème de la vision comme le résultat d'une action sur l'œil. Et ce qui me semble intéressant ici c'est que la vision est considérée comme une passion, c'est-à-dire comme la réception dans l'œil de quelque chose provenant de l'extérieur.

Sagredo : N'est-ce pas sur ce principe que fonctionnent tous nos sens ?

Salviati : Vous touchez là un point crucial, Sagredo. Si l'on en croit Aristote, il semble que les cinq sens fonctionnent tous de la même façon. Ils sont le résultat d'une action extérieure (le stimulus) sur un organe spécifique appelé organe sensoriel. Chaque organe sensoriel se trouve affecté par des impressions spécifiques venant des objets. Ainsi, nous entendons parce que nous recevons du son dans l'oreille, nous sentons car nous recevons...

Simplicio : ... des odeurs dans le nez...

[B] Salviati : ... Nous avons la sensation du goût car notre bouche reçoit des saveurs, et ainsi de suite. Et puisque mon objectif est de vous convaincre que la vision est une passion, en ce sens qu'elle est le résultat d'une action sur l'œil, j'ai là un argument qui sans doute vous convaincra plus que tout autre. Permettez-moi tout d'abord de vous poser une question : pensez-vous pouvoir regarder fixement le Soleil pendant dix secondes ?

[C] Simplicio : Quelle idée !

Sagredo : Assurément non, cela serait bien trop douloureux, et préjudiciable pour la vue.

Salviati : Précisément. Et savez-vous pourquoi ?

Sagredo : Sans doute parce que la lumière provenant du Soleil est trop forte.

Salviati : Bien. Vous admettez donc qu'une lumière trop forte provoque des effets douloureux sur l'œil et que, par conséquent, l'œil est sensible à une lumière trop forte. On ne peut pas penser qu'il y ait quelque chose qui aille de l'œil vers l'objet car, dans cette situation il n'y aurait pas de raison de souffrir en face d'un objet plutôt que d'un autre. Si l'on est ébloui en regardant le Soleil, c'est bien parce que de la lumière forte entre dans l'œil.

Sagredo : Je suis en tout point d'accord avec vous, cher Salviati, mais n'oubliez pas que nous cherchons à comprendre la manière dont on voit, pas la manière dont on ne voit pas. Or la situation que vous décrivez, celle de l'éblouissement, est totalement opposée à la vision.

Simplicio : Décidément, vous vous égarez, Salviati, Sagredo a raison, l'entrée de lumière dans l'œil empêche de voir.

Salviati : Permettez-moi de vous corriger, Simplicio. Vous dites : « l'entrée de lumière dans l'œil empêche de voir » et moi je dis : « l'entrée d'une très forte lumière dans l'œil empêche de voir ». Percevez-vous la nuance ?

Simplicio : Certes, mais je ne vois pas où vous voulez en venir. Ne sommes-nous pas ici pour parler de la manière dont se fait la vision ? Venez-en au fait, je vous prie.

Salviati : Malheureusement, il me faudra prendre quelques détours pour parvenir à vous convaincre du bien-fondé de ma théorie. Vous remarquerez que lorsque vous êtes éblouis, la sensation désagréable perdure, vous empêchant notamment de lire pendant un temps. Ainsi, une lumière forte affecte non seulement l'œil mais aussi la vue. De même qu'un son trop fort blesse le tympan tandis qu'un son modéré parvenant à nos oreilles provoque l'ouïe.

[D] Sagredo : Si je comprends bien votre comparaison, cher Salviati, une lumière modérée provoquerait la vue ?

Simplicio : Mais c'est absurde ! Lorsque nous regardons le monde autour de nous, ce sont bien les objets que nous voyons et ceux-ci ne nous envoient pas de lumière. Si tel était le cas, nous serions continuellement éblouis !

Salviati : Calmez-vous, Simplicio, et tachez de suivre mon raisonnement. N'est-il pas vrai que pour voir un objet non lumineux par lui-même, celui-ci doit être éclairé ?

Sagredo : En effet, nul ne songerait à penser que l'on voit dans le noir.

Simplicio : Seuls les chats sont capables de cet exploit.

Salviati : Laissons les chats pour le moment voulez-vous, tant il est vrai qu'ils ne voient pas plus dans le noir que vous et moi. Donc pour voir un objet il faut que celui-ci soit éclairé. Moins un objet est éclairé, moins il est visible, et plus il est éclairé, plus il est visible. Si toutefois, il est trop éclairé, la vue est altérée, et la vision de l'objet devient impossible. Ce phénomène n'est-il pas similaire à celui dont nous avons déjà parlé, à savoir l'éblouissement que nous ressentons en regardant le Soleil ?

Sagredo : Assurément. Un objet éclairé par une lumière très intense se comporte donc comme le Soleil. Il renvoie dans l'œil une lumière trop forte, et cette lumière blesse les yeux. C'est ce qui se passe par exemple lorsque l'on regarde la neige au Soleil.

Salviati : Bien ! Voilà que vous raisonnez avec la lumière. Imaginez maintenant que cet éclairage diminue progressivement. Si vous voyez l'objet, c'est qu'il est toujours éclairé, n'est-ce pas ? Et si vous le voyez parfaitement, si vous parvenez à distinguer ses moindres détails, c'est que vous n'êtes plus gêné par l'entrée dans votre œil d'une lumière trop forte. Or dans ce cas, ce qui a changé, ce n'est pas l'entrée de lumière dans l'œil, mais sa quantité. Autrement dit, l'œil a la sensation de l'éclairage, et cette sensation est commandée par la quantité de lumière qui pénètre l'œil. Un homme voit lorsque la quantité de lumière provenant des objets et qui pénètre son œil n'est ni trop forte, ni trop faible. Cette théorie nous vient d'un savant arabe du nom d'Alhazen.

Simplicio : Cela signifie-t-il que tous les objets qui nous entourent renvoient continuellement de la lumière dans nos yeux, alors même que nous n'en avons aucun signe ?

Sagredo : Aucun signe dites-vous ? Le simple fait de voir ces objets n'est-il pas significatif d'une présence de lumière ?

Salviati : Je vois, cher Sagredo, que vous semblez convaincu. Simplicio, qu'en pensez-vous ?

Simplicio : Je dois avouer que je suis séduit par votre théorie. **[E]**

Book reviews

Matthieu RIGAUT (2005). *L'épreuve écrite de physique au baccalauréat : analyse du point de vue du contrat didactique*. Thèse de doctorat, université Paris 7, 141 pages, annexes de 105 pages.

Matthieu Rigaut s'intéresse aux sujets de physique du baccalauréat des séries scientifiques. Il est connu que les évaluations finales pilotent largement les contenus des enseignements. Le baccalauréat, diplôme national dont l'importance est primordiale pour le futur scolaire des élèves, ne peut échapper à cette règle. L'auteur s'attache donc à voir s'il est possible d'y repérer des stéréotypes dans les sujets, en se plaçant dans le cadre théorique du « contrat didactique ». Il ne cherche pas à observer des micro-événements se déroulant au sein des classes, par une méthodologie relevant de l'analyse clinique. Il se range dans la catégorie des chercheurs analysant les grands traits des contrats, les « éléments pérennes » structurant fortement les enseignements, par delà les singularités pouvant être imputées aux enseignants ou aux élèves observés. Il s'appuie essentiellement sur les travaux de Johsua qui, en 1985, avait mis en évidence le « contrat didactique classique en physique » et veut voir si, vingt ans plus tard, ce « contrat classique » est toujours identifiable.

Un questionnaire papier-crayon, comportant des exercices et problèmes, est proposé à 58 élèves de deux classes terminales scientifiques : ces élèves doivent indiquer les exercices susceptibles d'être soumis à l'examen. Il apparaît une grande homogénéité des réponses : les élèves ont une vue précise du type d'exercices qu'ils peuvent rencontrer. L'auteur en donne la description, telle que vue par les élèves : pas de questions « ouvertes »,

de nombreuses étapes guidant les candidats vers la solution ; des éléments de savoirs disjoints testés, jamais de savoirs complexes ; peu de situations où des résultats doivent être soumis à critique, etc. De ce point de vue, peu de choses ont changé en 20 ans.

Pour vérifier si cette représentation s'appuie sur des éléments réels, l'auteur étudie trente quatre exercices de baccalauréat scientifique des années 1999 et 2000. Il construit une grille d'analyse des sujets. S'appuyant sur une étude critique de diverses grilles taxonomiques, il arrive à un outil original dont le grain fin d'analyse paraît particulièrement opératoire. Certes, c'est un outil lourd, mais c'est le prix à payer pour lever au maximum les imprécisions et appréciations discutables des autres grilles aux items très généralistes. À mon avis, le chercheur possède maintenant avec cette grille, un outil fécond d'étude. Elle permet de dresser un tableau de la nature des savoirs testés à l'examen, de la façon dont les exercices sont conçus et des poids attribués, à travers la notation, à chacun de ces éléments, en somme de comprendre comment l'évaluation finale pèse sur l'enseignement de terminale et pourquoi le « contrat didactique classique en physique » est toujours présent. Et il est bien tel que les élèves en ont la large intuition.

Avec le même outil, Matthieu Rigaut étudie les programmes scolaires des classes de seconde, première et terminale scientifiques (niveaux 10 à 12). Apparaît bien le passage graduel de la seconde généraliste à des classes de plus en plus spécialisées, avec une mention particulière pour les enseignements expérimentaux en « spécialité ». Une comparaison entre les programmes de 1994 et 2002 montre une augmentation notable de la précision des attentes de l'institution, tendant à rendre plus explicite le contrat didactique à l'œuvre.

Dans sa conclusion, l'auteur donne son opinion : ces exercices stéréotypés génèrent un conformisme de la pensée au lieu de révéler les sujets créatifs et inventifs ; ils sont peu propices à déceler les élèves susceptibles de devenir de bons physiciens. C'est vraisemblablement exact, mais l'on ne peut oublier que ces évaluations se font dans un cadre très contraint. Comment penser des évaluations massives, limitant la part de l'aléatoire dans la correction par de nombreux professeurs et surtout, élément décisif, en temps limité ? Le physicien créatif et inventif ne travaille pas dans ces conditions. Il travaille dans la durée en se mobilisant longuement sur un problème ; il a accès aux documents, articles et productions scientifiques de sa communauté ; il profite des succès et échec de ses collègues... Pour l'enseignement, nous sommes dans un autre registre complètement transposé. Construire d'autres types d'évaluation ne peut se faire sans faire l'impasse sur cette réalité.

Mathieu Rigaut a produit un travail sérieux et argumenté pouvant intéresser les chercheurs et les praticiens. Il mérite d'être lu.

Jean-Jacques Dupin

Najoua ZAÏANE (2004). *Apprentissage énergétique du rayonnement. Rôle des instruments de mesure dans la validation de la modélisation. Pour une problématique en termes de théories des situations et de profil conceptuel.* Thèse de doctorat, université Lyon 1, 315 pages, annexes de 142 pages.

Najoua Zaïane propose une construction curriculaire à propos du rayonnement et de la photométrie pour aider à combler une lacune : tant en Tunisie qu'en France, cette partie de la physique n'est pas enseignée au niveau secondaire alors que les savoirs de photométrie sont largement présents dans l'environnement des personnes.

L'auteure commence par porter un regard historique et épistémologique sur le rayonnement et la photométrie. Cette étude lui permet d'émettre des hypothèses sur les éventuelles difficultés d'ordre conceptuel que pourraient rencontrer les élèves confrontés à ces mêmes questions. Suit une étude très pertinente du rôle de l'instrument de mesure dans la construction des théories scientifiques, en

reliant le tout à l'usage des symboles dans la construction des modèles. Cette fonction de l'instrument de mesure, comme l'usage des symboles comme outils intellectuels, sont généralement largement sous-estimés dans l'enseignement. L'auteure leur fera jouer un rôle central ; c'est un des points forts de son travail.

Une présentation, plus descriptive que problématisée, des programmes scolaires tunisiens et français permet de souligner que les concepts liés au rayonnement, explicitement ou implicitement présents, ne font pas l'objet d'une construction cohérente dans le travail de transposition définissant l'objet à enseigner. Nul doute qu'alors les professeurs aient du mal à les enseigner ou ne le fassent pas du tout.

Najoua Zaïane présente ensuite les contenus des séquences d'enseignement testées : dispositifs technologiques, instruments de mesure, type de modélisation et symboles introduits pour aider les élèves. L'auteure précise aussi ses références théoriques pour aborder les questions d'apprentissage. S'appuyant sur les travaux de Mortimer, elle utilise de façon centrale l'étude des « profils conceptuels » des élèves. Elle fait appel à la théorie des situations didactiques de Brousseau comme cadre lui permettant de penser et concevoir la construction des séquences, par alternance de périodes didactiques, non didactiques, a didactiques. Cela donne un cadre cohérent à ses propositions.

La méthodologie de recueil des données observables est présentée. Il est précisé que la taille des échantillons constitués, les conditions de déroulement de l'expérimentation, les avatars dans le recueil de certaines données ne permettent pas de prétendre à des analyses statistiques fiables. Nous sommes là dans le domaine des analyses qualitatives qui permettent de tester sur des sujets un certain nombre d'hypothèses didactiques et éventuellement de découvrir de nouveaux phénomènes non prévus. Cette approche, non partagée dans d'autres secteurs de recherche, a cependant prouvé son efficacité en didactique et, en tout cas, sa valeur heuristique. À condition bien entendu de se garder des surinterprétations, des généralisations abusives.

La construction, la description et l'analyse des diverses séquences démontrent largement l'intérêt du travail. Le statut des outils symboliques et des instruments de mesure est bien

étudié et l'utilité de leur usage attestée. En outre cette étude peut constituer une bonne base de réflexion et d'aide aux décideurs si l'enseignement de cette partie de la physique devait être généralisée un jour. C'est bien une des fonctions que doivent remplir les recherches en didactique. C'est donc à mettre largement au crédit de l'auteure, tout en gardant à l'esprit qu'il y a loin d'une expérimentation dans un cadre très spécifique à une généralisation à un système éducatif dans son ensemble.

Jean-Jacques Dupin

Françoise HARIVEL-BEORCHIA (2003). *La communication nerveuse : conceptions des apprenants et problématisation. Importance des explications mécanistes et vitalistes, université de Nantes, UFR de lettres et langages, 335 pages.*

Cette thèse de didactique de la biologie intitulée « La communication nerveuse : conceptions des apprenants et problématisation. Importance des explications mécanistes et vitalistes » a été soutenue à l'université de Nantes, UFR de Lettres et Langages, le 23 octobre 2003.

Ce texte de 335 pages est condensé et précis. Comme pour les autres travaux présentés par le CREN de Nantes il s'agit de conjuguer trois types d'analyse : une élucidation épistémologique sur l'activité scientifique comme démarche de problématisation, une élucidation de type historique pour repérer cette problématisation à l'œuvre dans l'histoire des sciences et en tirer des outils pour la didactique et enfin un travail en classe d'analyse des représentations des élèves et des débats scientifiques.

Malgré un titre centré de manière précise sur la communication nerveuse, c'est-à-dire le transfert et la transformation, en d'autres termes le codage, d'informations entre les cellules nerveuses et les organes, en fait le travail est nécessairement plus vaste. La communication nerveuse ne prend sens que dans une activité de commande de certains organes, en réponse à des modifications diverses du milieu intérieur ou extérieur. Elle oblige à prendre en compte un « système » c'est-à-dire un ensemble organisé et régulé comprenant détecteur, centre comparateur et intégrateur, voies de transmission, effecteur, point de consigne et c'est bien ce qui est analysé ici.

La première partie présente l'état des réflexions actuelles sur la problématisation en classe en prenant appui sur la problématisation scientifique. Une question retient particulièrement l'attention, celle des relations entre connaissance commune et connaissance scientifique. Le passage de l'une à l'autre est conçu, dans une perspective bachelardienne, comme une rupture, mais en biologie celle-ci n'est ni unique, ni totale, et peut présenter des retours en arrière.

La seconde partie présente les résultats de lectures concernant l'histoire du système nerveux. Plusieurs obstacles et étapes franchies sont repérées et décrites. L'auteure identifie également ces obstacles dans les programmes d'enseignement successifs. La révolution copernicienne dans la physiologie du système nerveux est constituée par la décentration du centre, c'est-à-dire du cerveau vers la moelle épinière, obstacle que l'auteure nomme « céphalocentrisme ». Le cerveau serait le point de départ de tous les ordres et le point de passage obligé de toute information et de toute action. Cette vision centralisatrice et hiérarchique est évidemment surdéterminée socialement.

Une autre difficulté concerne l'histoire de l'enseignement et le concept de codage de l'information. Le caractère abstrait de ce concept et sa mathématisation échappe bien souvent aux enseignants qui privilégient les « observables » ou limitent cette notion à celle de l'intensité du paramètre oubliant les autres aspects de ce codage (seuil, durée, fréquence, effet cumulatif). Ce travail permet donc d'armer les enseignants sur cette question.

La troisième partie constitue l'apport le plus important de ce travail. Après avoir indiqué la méthodologie suivie et les intérêts et les limites des débats organisés en classe en petits groupes dans la construction des problèmes, le chapitre 15 développe plusieurs problèmes construits dans une perspective mécaniste ou vitaliste, en regard des obstacles repérés. Les descriptions suivent un plan méthodique, proposé initialement par Christian Orange, qui sépare les registres empiriques, les registres des modèles et les registres explicatifs. L'analyse montre bien que le problème de la communication nerveuse implique de nombreux préalables qui sont des conditions de possibilité de son acquisition.

Guy Rumelhard

ACTUALITÉ DES COLLOQUES

Conference announcements

COLLOQUE INNOVATIONS, USAGES, RÉSEAUX

17 et 18 novembre 2006 à Montpellier

Thème : Ce colloque a pour objectif d'interroger le monde scientifique sur trois problématiques afin de comprendre, de partager des expériences liées à la mise en place de projets d'innovation (environnement numérique de travail, espace technologique, dispositif et ingénierie de formation) dans des établissements d'enseignement supérieur (universités, instituts ou grandes écoles) :

Thématique 1 : Réseaux socio-technico-pédagogiques. Cet atelier se placera dans le cadre de ce que nous proposons d'appeler des Réseaux socio-techniques de Coopération Pédagogique et de Recherche (RCPR) en référence aux Réseaux de Coopération Scientifique de D. Vinck (2000). Il se penchera sur ce que sont et peuvent être les réseaux socio-techniques et sur les conditions de leur développement.

Thématique 2 : Ethnographie Vidéo et environnements pédagogiques technologisés. L'atelier fera le point sur les travaux menés dans des environnements technologisés qui soutiennent des activités pédagogiques ou organisationnelles dans l'enseignement supérieur.

Thématique 3 : Valorisation des innovations dans l'enseignement supérieur. Dans cet atelier, il s'agira de discuter des différents moyens, plans d'action, mis en œuvre pour valoriser les travaux issus de la recherche scientifique dans le cadre de la mise en place de projets innovants.

Les logiques d'innovation sont souvent complexes et parfois paradoxales. Le colloque sera l'occasion d'inscrire notre réflexion dans le cadre d'une innovation durable et maîtrisée dans la perspective du développement humain. Ce colloque permettra de présenter les résultats du projet ENTICE (<http://recherche.univ-montp3.fr/entice>) : « Pratiques attendues et usages réels des environnements numériques dans la mise en œuvre et le déploiement de l'Université Numérique en Région Languedoc Roussillon (UNR LR) ».

Contact : Les propositions de communication qui doivent comporter un titre et un résumé proposé en 5000 signes espaces compris (Times New Roman, 12), le nom de l'auteur institution d'appartenance, fonctions, mél, adresse postale et téléphone, sont à adresser par mél (fichiers attachés au format Word, rtf ou pdf) à Claire Becker (claire.becker@atilf.fr).

Informations : <http://www.atilf.fr> et <http://recherche.univ-montp3.fr/mambo/entice>

Calendrier : Date limite d'envoi des propositions de communication : 30 avril 2006.

CEMAFORAD 3 SOUSSE'2006
COLLOQUE EURO MÉDITERRANÉEN ET AFRICAÏN
D'APPROFONDISSEMENT SUR LA FORMATION A DISTANCE

Appel à communication

**« Intégration des TIC à l'enseignement et à la formation –
Réalités et Perspectives »**

13, 14 et 15 novembre 2006 à Sousse (Tunisie)

Colloque organisé en étroite collaboration avec l'université Louis Pasteur de Strasbourg en France, l'université de Genève en Suisse et l'université de Mons-Hainaut en Belgique, l'institut supérieur des études technologiques de Sousse et l'association de Sousse pour l'innovation et la technologie.

Objectifs : Les colloques CEMAFORAD ont pour objectif majeur de contribuer au développement de la formation à distance en Europe, dans les pays du pourtour méditerranéen ainsi qu'en Afrique.

Problématique : L'usage des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'enseignement et la formation est encore une pratique relativement limitée qui est souvent prise en charge par des équipes motivées et volontaires. Ces nouvelles pratiques sont renforcées par des méthodes et techniques déjà expérimentées. Cependant, leur généralisation reste encore difficile. Ces difficultés sont souvent dues à des facteurs historiques, technologiques, culturels, pédagogiques, et surtout humains. Les colloques CEMAFORAD sont l'occasion de faire le point sur ces problématiques et de débattre des expériences menées dans tous les pays francophones du pourtour méditerranéen et de l'Afrique.

Communications : Les propositions de communication pourront être explicitement liées à ces thèmes ou traiter de la problématique générale du développement des TICE dans la mesure où des sessions supplémentaires sont envisageables en fonction de l'intérêt des participants. Les textes des communications devront parvenir au comité d'organisation (cemaforad3@yahoo.fr) exclusivement sous forme numérique (format RTF) au plus tard le 15 Mai 2006. Elles devront se présenter sous la forme d'un texte de 10 pages A4 au maximum.

Langues de travail : Langue de communication orale : français. Textes : français ou anglais avec résumé bilingue.

Public : Le public visé inclut les enseignants, les enseignants chercheurs, les praticiens de l'EAD, les formateurs, les utilisateurs des produits et services de FOAD, etc.

Information : M^{lre} Besma BEN SALAH, cemaforad3@yahoo.fr

UN FESTIVAL DES SCIENCES INÉDIT : PARIS-MONTAGNE, LE PARI DES SCIENCES !

Annonce et appel à projets

À l'École normale supérieure - 45, rue d'Ulm - 75005 Paris

Du 19 au 23 juillet 2006

Thème : Le vrai et le faux.

Public : Tous ceux qui aiment la science ou aimeraient mieux la connaître.

Objectifs : Lutter contre les fractures scolaire, sociale, numérique et scientifique. Faire découvrir la science et la rendre accessible à tous.

Contact : Découvrez toutes les caractéristiques du festival sur :

<http://www.paris-montagne.org>

Vous êtes une association de culture scientifique, un chercheur passionné de vulgarisation, une troupe de théâtre de science, un enseignant débordant d'idées, un médiateur scientifique... Vous êtes porteur d'un projet éducatif innovant : atelier expérimental, animation, spectacle scientifique, jeu de rôles, film de science, exposition...

Date limite de dépôt des candidatures : 1^{er} mai 2006

Sélection des projets et annonce des résultats : 15 mai 2006

Des postes sont également à pourvoir au sein du Comité d'Organisation (consulter également notre site Internet).

Visitez également le site de la formation à la médiation scientifique de l'ENS : <http://cognition.ens.fr/traces>

et le site des Atomes Crochus : <http://www.atomes-crochus.org>

Laboratoire de Didactique et d'Epistémologie des Sciences

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation

Université de Genève

Uni Pignon - 40, bd du Pont-d'Arve - CH-1211 Genève - Suisse

Atomes Crochus : +33 8 74 59 87 41 (assistante)

Télécopie : +33 1 44 32 36 10 (DEC)

2^e SÉMINAIRE INTERNATIONAL MÉTHODES DE RECHERCHE EN DIDACTIQUES

Le 17 novembre 2006 2006 à Villeneuve-d'Ascq, IUFM Nord - Pas-de-Calais (France)

Thème : Le thème central de cette journée sera celui des questions de temporalité que soulèvent les méthodes de recherche en didactiques. *Déroulement du séminaire* : Après une conférence introductive, le séminaire se déroulera en ateliers (les choix d'unités de temps dans une recherche en didactique, les problèmes méthodologiques spécifiques et la pertinence scientifique des recherches sur un temps long, les problèmes méthodologiques spécifiques et la pertinence scientifique des recherches sur un temps court) qui seront suivis d'une mise en commun.

Contacts : Coordination scientifique : Eric Roditi (eric.roditi@lille.iufm.fr)
 Dominique Lahanier-Reuter (dominique.reuter@univlille3.fr)
 Logistique et communication :
 Dominique Tissoires - IUFM Nord - Pas-de-Calais
 2 bis, rue Parmentier - 59650 Villeneuve-d'Ascq
 Tél. 03 20 79 87 15 - Fax 03 20 79 86 01
 dominique.tissoires@lille.iufm.fr
 Pour toute information complémentaire,
 consultez le site Web du séminaire :
 <http://www.lille.iufm.fr/methodo2006.htm>

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 : BEUFILS 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, envoyer un texte en « .doc » ou en « .rtf » par courrier électronique à didaskalia@inrp.fr

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

Fournir, lors de la soumission d'un article à la revue **deux exemplaires (papier) de l'article** respectant la présentation de DIDASKALIA, dont **un 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.

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 dans le courrier électronique 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

2 numéros par an

à retourner à : **INRP • Service des publications • Abonnements**
19, allée de Fontenay • BP 17424 • F-69347 LYON CEDEX 07
Tél. +33 (0)4 72 76 61 66/63 • abonn@inrp.fr • www.inrp.fr

Nom

ou établissement

Adresse

.....

Localité Code postal

Téléphone e-Mail Pays

Date Signature ou cachet

..... abonnement(s) x prix unitaire = euros TTC

Demande d'attestation de paiement : oui non

Tarif abonnement 1 an	
France métropolitaine (sauf Corse)	30,00 € TTC
Corse + Dom (sauf Guyane)	29,04 € TTC
Guyane + Tom	28,44 € TTC
Étranger	35,00 € TTC
Le numéro (France métropolitaine sauf Corse)	18,00 € TTC

Tout bulletin d'abonnement doit être accompagné d'un titre de paiement libellé à l'ordre du régisseur des 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 l'exécution de la commande.

Ne pas utiliser ce bon pour un réabonnement, une facture pro forma vous sera adressée à l'échéance.

DiDASKALIA

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

aster

recherches en didactique des sciences expérimentales

2 numéros par an

+ 2 numéros par an

à retourner à : **INRP • Service des publications • Abonnements**
19, allée de Fontenay • BP 17424 • F-69347 LYON CEDEX 07
Tél. +33 (0)4 72 76 61 66/63 • abonn@inrp.fr • www.inrp.fr

Nom

ou établissement

Adresse

.....

Localité Code postal

Téléphone e-Mail Pays

Date Signature ou cachet

..... abonnement(s) groupé(s) x prix unitaire = euros TTC

Demande d'attestation de paiement : oui non

Tarif abonnement groupé <i>Didaskalia + Aster</i> 1 an	
France métropolitaine (sauf Corse)	52,20 € TTC
Corse + Dom (sauf Guyane)	50,53 € TTC
Guyane + Tom	49,48 € TTC
Étranger	62,10 € TTC

Tout bulletin d'abonnement doit être accompagné d'un titre de paiement libellé à l'ordre du régisseur des 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 l'exécution de la commande.

Ne pas utiliser ce bon pour un réabonnement, une facture pro forma vous sera adressée à l'échéance.

DiDASKALIA

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

2 numéros par an

à retourner à : **INRP • Service des publications • Vente à distance**
19, allée de Fontenay • BP 17424 • F-69347 LYON CEDEX 07
Tél. +33 (0)4 72 76 61 64 • pubvad@inrp.fr • www.inrp.fr

Nom

ou établissement

Adresse

.....

Localité Code postal

Téléphone e-Mail Pays

Date Signature ou cachet

Numéro(s) commandé(s)

..... numéro(s) x prix unitaire = euros TTC

Demande d'attestation de paiement : oui non

Vente en ligne au numéro sur www.inrp.fr/publications/catalogue/web/

Prix du numéro • Tarif en vigueur	
Le numéro	18,00 € TTC

Toute commande doit être accompagné d'un titre de paiement libellé à l'ordre du régisseur des 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 : ministère de l'Économie, des Finances et du Budget, direction de la comptabilité publique, instruction n° 90-122-B1-M0-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 sur demande. Seul, le paiement préalable de son montant entraînera l'exécution de la commande.

