

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

---

**31**

**Décembre 2007**

© INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE, 2007

ISBN 978-2-7342-1094-8

Réf. RD 031

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-éditeurs

- Barbara BADER  
Professeure  
université Laval  
Québec, Canada
- Martine MÉHEUT  
professeure,  
IUFM de Créteil / LDSP  
université Paris 7  
Paris, France
- Jean-Louis CLOSSET  
Professeur, faculté des sciences agronomiques,  
Gembloux, Belgique

### Rédacteur en chef

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

### Secrétaires de rédaction

- Christophe DRIVER  
INRP  
Lyon, France

### Membres

- Jacques COLOMB, professeur émérite,  
INRP, Paris
- 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

Serge CALABRE, directeur de l'INRP  
INRP • 19, allée de Fontenay • BP 17424 • 69397 LYON CEDEX 07, FRANCE  
Tél. 04 72 76 61 58 • www.inrp.fr

---

---

## Comité de lecture

### **Allemagne**

- R. DUIT, IPN, Kiel

### **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 de Laval
- S. NORRIS, Memorial University of Newfoundland
- D. ROULEAU, collège de Lévis-Lauzon
- F. RUEL, université de Sherbrooke
- L. SAUVÉ, université du Québec à Montréal
- G. THIBERT, université de Montréal

### **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**

- V. ALBE, École nationale de formation agronomique
- R. AMIGUES, université de Provence
- J.-P. ASTOLFI, université de Rouen
- U. BESSON, université Paris 7
- É. BRUILLARD, IUFM, Créteil
- M. CAILLOT, université Paris 5

- M. COQUIDÉ, LIREST, Cachan
- M. DEVELAY, université Lyon 2
- J.-J. DUPIN, IUFM, Aix-Marseille
- J.-M. DUSSEAU, IUFM, Montpellier
- J. GINESTIÉ, université Aix-Marseille 3
- 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.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

### **Grèce**

- E. STAVRIDOU, université de Volo

### **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
  - M.-L. SCHUBAUER-LEONI, université de Genève
-

## Éditorial

Le comité éditorial dans sa séance du 23 mai 2007 a décidé de préciser aux lecteurs de *Didaskalia* et aux auteurs potentiels la politique éditoriale de la revue. Elle vous est donc présentée ci-dessous.

*Didaskalia* est une revue internationale francophone qui se veut être un espace de débat scientifique au service de la recherche en didactique et de l'innovation. Elle s'adresse aux chercheurs, aux formateurs, aux enseignants des différents niveaux ainsi qu'à tous ceux qui s'intéressent à la culture scientifique et technique.

*Didaskalia* est avant tout une revue de publication dite « primaire » qui rassemble des contributions originales présentant l'actualité de la recherche. Elle publie des articles de recherche, des comptes rendus d'innovation, des notes de synthèse (*nouvelle rubrique*), des points de vue et des notes de lecture. Les articles sont orientés dans les différentes rubriques en fonction des critères suivants :

- Il est attendu d'un *article de recherche* qu'il contienne la majorité des caractéristiques suivantes : présenter une problématique, reposer sur un cadre théorique, analyser les travaux antérieurs sur le sujet, décrire la méthodologie de recueil des résultats, présenter, analyser et discuter les résultats obtenus, conclure en se référant aux questions initiales de la recherche et à des recherches similaires.
- Un *compte rendu d'innovation* doit s'appuyer sur des questionnements ou/et des résultats de recherche, montrer en quoi la démarche est innovante, analyser ses effets et sa faisabilité en situation réelle d'apprentissage, contenir toutes les informations permettant à d'autres enseignants de mettre en œuvre une démarche identique.
- Une « *note de synthèse* » doit évoquer les principales questions du sujet ou du champ des recherches qu'il aborde, répondre à une ou plusieurs questions, avoir un regard critique sur les publications citées, déboucher sur des perspectives en matière de recherche ou d'enseignement.

– Un point de vue consiste en une prise de position affirmée, argumentée et documentée sur des idées un peu originales, nouvelles, intéressant la didactique des disciplines scientifiques et technologiques, d'un expert dans son champ d'expertise. Ces idées, pouvant être originaires de disciplines connexes, doivent ouvrir des pistes de recherche.

Les points de vue sont sollicités par les membres du comité de rédaction et publiés après avis des co-éditeurs de la revue. Les autres articles sont soumis au jugement de trois experts choisis pour leur compétence sur le sujet abordé. Le temps moyen de traitement des articles, entre leur réception et leur acceptation, est actuellement de 8 mois. Le comité éditorial a également envisagé la publication de numéros spéciaux consacrés à des thèmes particuliers. Y seraient rassemblés, après relecture et actualisation par leurs auteurs, des articles déjà publiés dans la revue, éventuellement accompagnés de contributions nouvelles.

J'espère que ces quelques lignes vous auront éclairé et incité à proposer un article pour publication dans *Didaskalia*.

**Alain DUMON**

Rédacteur en chef de *Didaskalia*.

## ARTICLES DE RECHERCHE

- Rania El Bilani, Pascale Montpied & Jean-François Le Maréchal**  
*Autonomie et motivation lors de l'apprentissage  
avec un simulateur*..... 11
- Jérôme Santini**  
*Jeux épistémiques et modélisation en classe ordinaire :  
les séismes au cours moyen* ..... 47
- Intissar Romdhane & Laurence Maurines**  
*Les étudiants et les interférences lumineuses :  
cohérence des sources et principe de superposition* ..... 83

## POINT DE VUE :

- Guy Rumelhard  
*« Créationnisme scientifique » et « intelligent design »  
versus la théorie scientifique de l'évolution*..... 113

## COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

- Danie Brehelin & Muriel Guedj  
*Le modèle particulière au collège: fluctuations des programmes  
et apports de l'histoire des sciences*..... 127
- Mourad Madrane, Mohamed Khaldi & Mohammed Talbi  
*Exploitation didactique de l'histoire des sciences  
dans une perspective de formation à l'enseignement des sciences* . 165

## NOTES DE LECTURE ..... 189

## ACTUALITÉ DES COLLOQUES ..... 191



---

# SUMMARY

## RESEARCH ARTICLES

- Rania El Bilani, Pascale Montpied & Jean-François Le Maréchal**  
*Autonomy and motivation in learning on a simulator* ..... 11
- Jérôme Santini**  
*Epistemic games and modelling in ordinary classrooms:  
the study of earthquakes in primary school*..... 47
- Intissar Romdhane & Laurence Maurines**  
*Students and light interference: coherence  
of their sources and principle of superposition* ..... 83

## POINT OF VIEW

- Guy Rumelhard  
*“Scientific creationism” and “intelligent design”  
versus the scientific theory of evolution* ..... 113

## REPORTS OF INNOVATIONS

- Danie Brehelin & Muriel Guedj  
*The particle model: changes in the curricula  
and the contribution of the history of science*..... 127
- Mourad Madrane, Mohamed Khaldi & Mohammed Talbi  
*Didactic use of the history of science in the context  
of science teaching* ..... 165

## BOOK REVIEWS ..... 189

## CONFERENCE ANNOUNCEMENTS ..... 191



# **Autonomie et motivation lors de l'apprentissage avec un simulateur**

**Autonomy and motivation in learning on a simulator**

**Autonomía y motivación durante el aprendizaje con un simulador**

**Autonomie und motivation beim lernen mit einem simulator**

**Rania EL BILANI, Pascale MONTPIED & Jean-François LE MARÉCHAL**

UMR ICAR – Coast, université Lumière-Lyon 2  
Parvis René Descartes, F 69007 Lyon – France.

## **Résumé**

*Dans cet article, autonomie et motivation, qui constituent deux éléments importants de l'apprentissage, sont interrogés lors d'un enseignement de chimie en Première S traitant des énergies de réaction et de liaison chimique. L'autonomie est définie grâce à la théorie de l'autodétermination, et la motivation est considérée sous son aspect cognitif, en relation avec le besoin de clôture. Trois binômes sont observés en train de réaliser une tâche, en classe et hors classe, mettant en jeu un simulateur. Ce dernier allie modèles qualitatif et quantitatif, représentations microscopique et macroscopique, et permet d'être impliqué dans une variété d'approches*

*de l'étude de la réaction chimique. Son utilisation apparaît comme un moyen pertinent de lutte contre de nombreuses conceptions relatives à la description microscopique de la matière, à la notion de liaison chimique, ou à la réaction chimique. L'enregistrement vidéo des élèves permet d'articuler ce qu'ils disent avec un statut d'hypothèse, et ce qu'ils font en interaction avec la simulation. L'approche théorique utilisée permet d'en déduire que la situation proposée est motivante, et qu'elle fonctionne avec une autonomie volontaire et non contrôlée par des facteurs externes.*

**Mots clés:** *Motivation, autonomie, simulation, énergie, liaison chimique.*

### **Abstract**

*Autonomy and motivation are two key elements in learning. The former has been theoretically defined from a self-determination theory, and the latter has been considered to have a cognitive origin in relation with the need for closure. Autonomy and motivation have been addressed during a teaching sequence involving a simulation dealing with reaction energy and chemical bonds. Three pairs of students have been observed as they were performing one of the tasks of the teaching sequence that involves a simulator. This simulator works out quantitative and qualitative models, as well as microscopic and macroscopic representations, which has appeared as a good way of dealing with chemical reactions. The use of the simulator has seemed to be promising in fighting against students' misconceptions about a particulate model of matter, chemical bonds and chemical reactions. Students' autonomy, defined along the lines of the autodetermination theory, and the motivation toward cognitive effort in the situation have been evaluated from their cognitive versus closure needs. By relating students' hypothesis and what they do with the simulation, the video recording of six students, analysed in the frame of our theoretical approach, has helped to conclude that, in the proposed situation, these students had interacted with the simulator in autonomy and developed a motivation aimed by a cognitive need.*

**Key words:** *motivation, autonomy, simulation, energy, chemical bonding*

### **Resumen :**

*En este artículo se examinan la autonomía y la motivación que constituyen dos elementos importantes del aprendizaje durante una docencia de química en la clase de Première S francesa (1° de Bachillerato especialidad Ciencias) que trata de las energías de reacción y de enlace químico.*

*La autonomía se define gracias a una teoría de la autodeterminación y la motivación que consideramos es de origen cognitivo en relación con la necesidad de clausura. Se observan 3 parejas de alumnos realizando una*

*tarea, en clase, que pone en juego un simulador. Este último relaciona los modelos cualitativo y cuantitativo, las representaciones microscópica y macroscópica y permite implicarse en una variedad de enfoques del estudio de la reacción química. Su utilización aparece como un medio pertinente de lucha contra numerosas concepciones relativas a la descripción microscópica de la materia a la noción de enlace químico o a la reacción química. La grabación por video de los alumnos permite articular lo que dicen con un estatuto de hipótesis y lo que hacen en interacción con la simulación.*

*El enfoque teórico utilizado permite deducir de esto que la situación propuesta es motivadora y que funciona con una autonomía voluntaria y no controlada.*

**Palabras clave:** *motivación, autonomía, simulación, energía, enlace químico.*

### **Zusammenfassung**

*In diesem Artikel werden Autonomie und Motivation, die zwei wichtige Elemente beim Lernen darstellen, im Laufe eines Chemieunterrichts in der première S (11. Klasse mit Leistungskurs Wissenschaft und Mathe) untersucht, in dem es um Reaktionsenergien und chemische Verbindungen geht. Autonomie wird an Hand einer Theorie der Selbstbestimmung definiert und die hier berücksichtigte Motivation ist kognitiver Herkunft, in Zusammenhang mit dem Abschlussbedürfnis. Drei Studentengruppen werden beobachtet, während sie in Tandemarbeit in der Klasse eine Aufgabe lösen sollen, die einen Simulator miteinbezieht. Letzterer verbindet qualitatives und quantitatives Modell, mikro- und makroskopische Darstellungen und erlaubt es, eine vielfältige Herangehensweise in der Untersuchung der chemischen Reaktion zu involvieren. Die Anwendung dieses Simulators erscheint als ein relevantes Mittel, gegen zahlreiche Auffassungen zu kämpfen, was die mikroskopische Beschreibung der Materie, den Begriff der chemischen Verbindung oder die chemische Reaktion angeht. Die Videoaufnahme der Studenten ermöglicht es, das zu analysieren, was sie als Hypothese formulieren, und was sie in Interaktion mit der Simulation machen. Aus der hier benutzten theoretischen Angehensweise kann man folgern, dass die vorgestellte Situation für Studenten motivierend ist, und dass sie zu einer freiwilligen Autonomie führt.*

**Schlüsselwörter:** *Motivation, Autonomie, Simulation, Energie, chemische Verbindung.*

## INTRODUCTION

S'il est un mythe qui a la vie dure, c'est bien la crainte que l'ordinateur et les simulations remplacent progressivement les séances expérimentales, voire les enseignants. Bien avant d'en arriver à cet extrême, se pose déjà la question de savoir si un élève peut apprendre de la science, en autonomie, grâce à un ordinateur. Il faudrait pour cela que le travail soit suffisamment motivant, bien organisé, et que des informations adaptées soient accessibles. Quel que soit le sujet abordé, les incontournables thèmes qu'il faut faire maîtriser à l'élève dans le cas de la chimie sont des notions sur le modèle particulaire, la réaction et la liaison chimique.

Le présent travail étudie une situation d'enseignement au cours de laquelle des élèves, largement autonomes, ont utilisé un simulateur. Celui-ci est supposé contribuer à l'apprentissage de notions délicates, comme l'énergie d'une liaison chimique. Notre étude se concentre sur l'autonomie et la motivation (termes définis en partie 3) des élèves pendant leur travail avec les TICE. Dans le cadre de la théorie de l'autodétermination (Deci & Ryan 2000; partie 3), la motivation est liée à la qualité de l'apprentissage, ce qui est essentiel puisque les connaissances en jeu sont reconnues comme délicates (partie 2). Les résultats de notre étude (présentés dans la partie 5), qui montrent le rôle de la simulation dans la motivation, sont discutés avec ce point de vue dans la partie 6.1, et avec le point de vue de l'apprentissage dans la partie 6.2.

## 1 CONTEXTE

Depuis 1997, notre groupe de travail, identifié sous le nom de groupe Sesames-chimie<sup>1</sup>, a été impliqué dans des projets de recherche et développement dont une partie de l'activité a permis de créer des activités de chimie à réaliser en classe, en mettant l'élève dans une situation aussi autonome que possible. Cela a consisté à élaborer, au cours de séances réunissant un chercheur en didactique et des enseignants, des textes pour l'élève et pour le professeur. Le rôle de ces écrits est d'organiser le travail de la classe en particulier pendant les séances de TP au niveau du lycée. Certaines de ces activités ont eu comme objets de mettre en œuvre des simulateurs commercialement accessibles (Roux & Le Maréchal, 2003a, 2003b; El Bilani & Le Maréchal, 2005). Le présent article s'intéresse à l'une d'elles. Il étudie une simulation qui s'intègre à une séquence d'enseignement visant à couvrir la partie *L'énergie au quotidien* qui clôt le programme de première S (2001). À cause de contraintes de temps et du prétendu faible

---

(1) <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/sesames>

intérêt de cette fin de programme pour le futur bachelier, les enseignants passent peu de temps sur cette partie. C'est pourquoi nous avons tenu à élaborer une séquence courte, en relation avec le reste du programme de physique pour lequel l'énergie prend une large place.

Pour construire cette séquence, nous nous étions assigné trois objectifs :

- tout d'abord concevoir un TP mettant en jeu une simulation permettant d'introduire des notions nouvelles pour les élèves, et de les utiliser sur quelques exemples au sein d'un environnement cohérent du point de vue de la chimie et des opérations successives à produire.

- puis, évaluer cet environnement et le rendre suffisamment riche en informations et instructions accessibles aux élèves afin qu'ils puissent y gérer leur activité en autonomie ;

- et, finalement, donner à cette partie du programme, traitant de l'énergie en chimie, un environnement où une motivation de qualité pourrait s'exprimer ; la répercussion d'une telle motivation sur la qualité de l'apprentissage a été démontrée par de nombreux auteurs dont Kruglanski (1996) et Deci & Ryan (2000) qui ont fondé les théories que nous utiliserons pour valider notre activité selon cette dimension.

Par conséquent, si nous pouvions observer que le système – constitué des élèves, de la fiche d'instructions et de questions, et du logiciel de simulation – fonctionne en autonomie en permettant aux élèves d'exprimer une motivation de qualité pour favoriser une construction de ces connaissances, alors nous aurions atteint nos objectifs.

## 2 DIFFICULTÉS D'APPRENTISSAGE EN CHIMIE

Les travaux de recherche traitant de l'introduction du modèle particulaire sont nombreux et certains utilisent une simulation (par exemple Ardac & Akaygun, 2004). Les élèves doivent apprendre à faire intervenir le niveau microscopique de description de la matière (Ben-Zvi *et al.*, 1986). Cependant, les difficultés pour utiliser un tel niveau résistent à l'enseignement, *même quand les élèves y sont invités* (Abraham *et al.*, 1992 ; 1994 ; Haider & Abraham, 1991). Une représentation utilisant des symboles doit aussi être enseignée, mais est souvent utilisée sans être comprise (Friedel & Maloney, 1992 ; Yaroch, 1985).

Les relations entre la structure de la matière, la réaction chimique et l'énergie ont également été abordées, soit du point de vue macroscopique comme la difficulté à faire comprendre ce qu'est une réaction exo/endothémique (de Vos & Verdonk, 1986), soit du point de vue

microscopique comme la confusion entre les rôles respectifs des liaisons intra/intermoléculaires lors d'un changement d'état (Peterson *et al.*, 1986). Des travaux sur la liaison chimique ont également été réalisés (Harrison & Treagust, 2000; Taber & Watt, 1996; Coll & Taylor, 2002), montrant que seuls 15 % des élèves de terminale (grade 12) étaient capables de prédire l'exothermicité de quelques réactions (dont une combustion), et de la mettre en relation avec la force des liaisons chimiques des réactifs comparée à celle des produits (Boo, 1998).

La difficulté de comprendre ce qu'est une liaison chimique a également été abordée, souvent en comparaison à ce qu'est une structure ionique (Coll & Treagust, 2002; Harrison & Treagust, 2000; Taber & Watts, 1996; Taber, 2001; 2003). Dans une étude des différents modes de liaison chimique, Coll et Taylor (2002) ont étudié les modèles mentaux des élèves et des étudiants, mais aucune approche énergétique n'a été proposée.

Nous relaterons donc l'étude des conditions qui permettent d'aborder en autonomie, grâce à une simulation, les notions d'énergie de liaisons et de réaction chimique. Nous allons voir qu'il est possible de définir théoriquement la motivation et d'observer sa qualité en considérant l'expression du besoin d'autonomie de l'individu, ainsi que l'effet de la situation construite sur le besoin cognitif.

### **3 CADRE THÉORIQUE ET QUESTION DE RECHERCHE**

Afin de pouvoir apprécier l'autonomie de fonctionnement de l'activité que nous avons proposée aux élèves en leur faisant utiliser un simulateur, nous avons dû analyser leurs actions comme l'expression, d'une part, de leur besoin d'autonomie et, d'autre part, de leur satisfaction. Nous avons pour cela utilisé la théorie de l'autodétermination, qui repose plus particulièrement sur ce besoin d'autonomie et d'autodétermination, et qui suggère que, selon le niveau et les possibilités d'investissement de cette autodétermination, la motivation engagée dans les comportements d'apprentissage varie en qualité (Deci & Ryan, 2000; Black & Deci, 2000). Cependant, cette théorie étant basée sur une composante interne de la motivation – le besoin d'autonomie – l'expression de celui-ci dans le cadre d'un apprentissage de la chimie dépend beaucoup de l'histoire de l'individu et de ses expériences antérieures d'autonomie dans ce cadre. L'engagement, ou au contraire la difficulté à l'engagement autonome observés, peuvent donc résulter des qualités ou des défauts de notre activité, mais également des attitudes positives ou négatives construites par l'élève au sujet de l'expression de son besoin d'autonomie dans un tel cadre.

Aussi, pour mieux analyser, d'une part la situation où l'on expose l'élève à un problème avec lequel il doit composer et, d'autre part, son niveau de motivation tout au long de l'activité proposée pour le conduire vers la solution, nous avons eu recours à une seconde théorie de la motivation : la théorie cognitive de la motivation. Celle-ci, contrairement à celle de Deci & Ryan (2000), ne met pas au centre les besoins psychologiques fondamentaux de l'individu mais, au contraire, la situation où se développe la cognition. Cette situation produit des effets régulateurs qui dépendent en particulier d'éléments observables, tels que les interactions avec des personnes ou autres composantes interactives et, des relations entre la fonction du comportement motivé produit et l'intégration des différentes dimensions du contexte. Ces observables varient en fonction des qualités de l'environnement et permettent donc d'analyser l'effet de cet environnement sur la motivation à la cognition dans la situation étudiée. L'un de ces observables est le nombre d'hypothèses émises dans une situation problème ; ce sera la variable que nous choisirons de mesurer ici ; cette variable a été corrélée à un niveau d'exigence et de satisfaction (Kelley, 1971) permis par la situation. Ce niveau atteste d'un engagement cognitif plus ou moins poussé et d'un possible développement de la motivation intrinsèque dans la situation d'apprentissage (Kruglanski & Webster, 1996 ; Small & Venkatesh, 2000).

### **3.1 Théorie de l'autodétermination**

Il convient de distinguer les comportements motivés suivant qu'ils proviennent d'un besoin d'autonomie ou d'un contrôle externe poussant à l'action. Dans le premier cas, les causes mobilisatrices de la motivation ont une forte composante interne. Le sujet est désintéressé, et ses décisions émanent d'un plan de développement personnel parfaitement intégré et indépendant des pressions externes. Dans le second cas, la causalité est externe, et le sujet décide sous la pression d'autrui, pour être récompensé ou reconnu, en accord avec l'environnement social. Entre ces deux niveaux extrêmes de motivation du sujet – l'expression ou l'absence totale du besoin d'autonomie – il existe divers types de régulation de la motivation par une autodétermination de qualité variable, avec des causes qui invoquent des facteurs d'origines variables et souvent mixtes : interne/externe.

Dans une situation de classe, l'obligation de participation fait partie du contrat de l'institution scolaire, mais un plaisir peut aussi être pris par l'élève. Son engagement dans la tâche peut donc être régulé par une motivation régie au moyen des règles d'identification ou d'introjection, et demeurer une contingence externe, ou être régulé par les règles d'intégration qui sont déterminées par des facteurs internes. Ces trois

formes de motivation répondent à un fort besoin d'autonomie bien qu'elles ne soient pas à proprement parler des formes de motivation intrinsèque pure (c'est-à-dire strictement volontaire, sans incitation et obligation à l'action ; Deci & Ryan 2000).

Dans le contexte des choix d'enseignement, un enseignant peut proposer un travail dans une situation de contrôle direct mettant en jeu son autorité et son arbitrage. Il use alors de coercition ou de séduction. Il récompense ou sanctionne. Il peut au contraire proposer un travail en dévolution où l'élève gère les instructions et ses actions, pour s'y soumettre en autonomie. Ce choix de l'enseignant produit des effets opposés sur la motivation de l'élève à apprendre. Ceci a été particulièrement étudié par divers auteurs utilisant des approches variées de la motivation (Deci & Ryan, 1987). Cependant, le milieu où peut se développer le travail en dévolution et l'autonomie d'apprentissage doit fournir suffisamment d'informations, et l'enseignant doit être là pour encourager à les utiliser, afin de permettre à l'élève une résolution personnelle par un cheminement choisi. Cela permet le développement d'une motivation avec un fort degré d'autodétermination et permet l'identification de l'élève avec une régulation externe. Il en résulte généralement un meilleur apprentissage conceptuel, plus de créativité et un affect positif (Black & Deci, 2000).

### **3.2 Théorie cognitive de la motivation**

La motivation, dont il est question dans les paragraphes précédents se positionne, par rapport à l'individu et prend en compte ce qui, en lui, régule son engagement, entre ses besoins et ses buts. Nous considérerons une théorie complémentaire de la motivation qui s'intéresse plus à la situation, et où l'inconnu d'une histoire psychologique de l'individu n'est pas un écueil à l'interprétation de son engagement.

Le modèle de la motivation cognitive est parfaitement adapté au processus qui conduit à l'utilisation de la connaissance. Il est basé sur plusieurs théories de la motivation (Small & Venkatesh, 2000). Ce modèle reconnaît le lien entre, d'une part, la confiance et la satisfaction (Keller, 1983) et, d'autre part, le besoin de clôture (Kruglanski & Webster, 1996). La satisfaction est une émotion obtenue à chaque fois qu'un conflit, cognitif dans notre cas, est résolu.

La satisfaction est ce que doit produire le but. Elle contribue au développement de la motivation quelle qu'elle soit. Dans un contexte d'enseignement, la satisfaction est souvent décrite comme le sentiment que l'élève ressent à la conclusion d'un moment privilégié de l'apprentissage, quand le fruit de ses efforts est en accord avec son attente. En revanche, le besoin de clôture est défini comme le désir d'une réponse définitive et

sans ambiguïté à une question afin d'en finir et d'être soulagé de la crainte de la non réponse (impulse ou crainte induits par la situation : Kruglanski & Webster, 1996 ; Pierro *et al.* 2005).

Le besoin de clôture est induit par une situation qui déstabilise les besoins psychologiques fondamentaux de l'individu, et qui le pousse à réagir dans le sens d'une protection du moi, puisque son besoin de self-estime est mis en danger par la compétition, la pression du temps, la pénalisation ou la survalorisation notamment. Le besoin cognitif, en revanche, est mû par ces besoins qui sont le fondement du goût à comprendre et à apprendre de la situation. En rendant compte de l'interdépendance des éléments et des aspects de la situation et des processus cognitifs, il constitue un point d'articulation privilégié dans l'étude des stratégies de prise d'informations et de jugement. Pour qu'il puisse se développer, il est nécessaire que la situation soit perçue comme un environnement non conflictuel, et au sein duquel l'élève veut et peut satisfaire deux besoins fondamentaux : compétence et autonomie. Ceux-ci aboutiront à la finalisation de qualité qui induira une forte satisfaction de son besoin d'accomplissement et de self-estime (Scheldon, 2001). Si la situation d'enseignement situe la conclusion de l'activité comme un lieu de récompense externe, le besoin de clôture sera le seul mobile de l'élève et se fera au détriment de son exigence intrinsèque d'une qualité de la réponse. Si, au contraire, l'enseignement favorise l'autodétermination, et donc l'expression des besoins d'autonomie et de compétence, alors l'élève sera conduit par ce que Small et Kruglanski appelle le besoin cognitif. La motivation cognitive met alors en jeu une exigence de qualité de la réponse et conduit l'élève à produire des cycles de genèse et de jugement d'hypothèses. Ceux-ci sont limités lorsque la motivation est régulée par le besoin de clôture.

La théorie cognitive de la motivation de Small et Venkatesh (2000) peut se décrire comme sur la figure 1. Suite à une question soumise dans une situation d'apprentissage. L'élève est alors amené à formuler une hypothèse dont il estime le taux de confiance par rapport à un niveau acceptable. Au-dessus de ce niveau, cette hypothèse se transforme en réponse, ce qui lui procure de la satisfaction en relation avec son besoin de compétence. En dessous, l'élève, en conflit cognitif intrinsèque, est donc amené à rechercher de l'information et à la traiter afin que son hypothèse satisfasse son exigence de qualité de la réponse, ou qu'elle soit modifiée. Quand il y parvient, une satisfaction est également éprouvée puisque l'ambiguïté soulevée par son hypothèse est diminuée ; le conflit cognitif s'apaise. La satisfaction apportée par cette situation n'apparaît que si, suite à la question posée, l'élève peut progresser dans l'une ou l'autre des boucles décrites sur la figure 1.

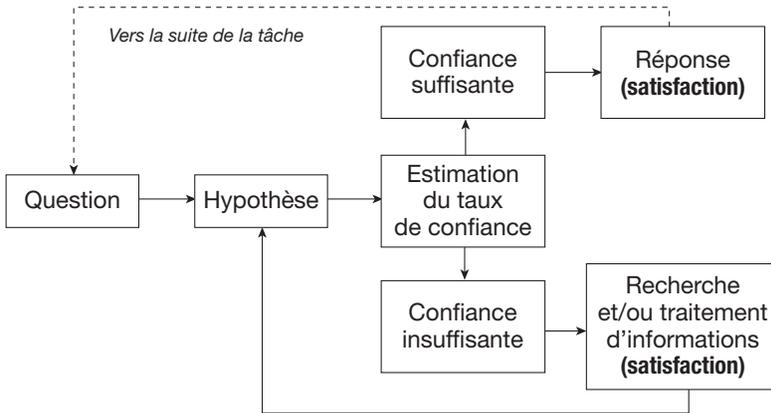


Figure 1 • **Représentation de la théorie cognitive de la motivation de Small & Venkatesh (2000).**

Il faut donc que les questions posées aux élèves soient formulées en des termes qui leur sont suffisamment familiers pour qu'ils puissent établir une première hypothèse. Pour cela les questions centrales de la tâche doivent être, par exemple, préparées par des informations ou questions préliminaires, un peu triviales, de mise en contexte ou de rappel. Puis, la situation doit fournir d'une part les éléments nécessaires pour estimer la confiance qu'ils apportent à leur hypothèse, et/ou d'autre part des informations pertinentes. Le rôle d'une simulation dans les boucles de la figure 1 est au centre de cet article.

### 3.3 Question de recherche

La question de recherche à laquelle nous nous proposons de répondre concerne la boucle inférieure de la figure 1, où une hypothèse pour laquelle le taux de confiance est insuffisant conduit, soit au passage à une nouvelle hypothèse, soit à la recherche d'informations en vue d'un accroissement de la confiance qui lui est attribuée. Ces conduites ont lieu pendant la résolution de la tâche, et nous allons chercher à comprendre en quoi la simulation intervient, d'où la question de recherche :

À quel point les données fournies autour d'une simulation interviennent-elles dans l'estimation de la confiance que les élèves ont des éléments de réponse qu'ils formulent lors de la résolution d'une tâche mettant en jeu un TICE ?

L'intérêt d'une telle question est de valider l'utilisation cognitive d'une simulation. Si celle-ci est un artéfact décoratif, voir ludique, sans

interaction avec la construction de la connaissance, on s'attend à pouvoir décrire l'activité de l'élève par la boucle inférieure de la figure 1 sans que les élèves utilisent la simulation ou consultent les données adjointes. Au contraire, si le passage d'une hypothèse à une autre la fait intervenir, alors on pourra penser que la simulation joue un rôle dans l'apprentissage. La satisfaction du besoins de compétence via la possibilité d'obtenir des informations, qui sont nécessaires à l'élève pour formuler une réponse qu'il juge exacte, sera déterminante pour cet apprentissage. Elle le motivera pour recourir à la simulation proposée.

## 4 MÉTHODOLOGIE

Pour répondre à cette question, nous avons observé des élèves en train de réaliser une tâche mettant en jeu une simulation. Le contexte de cet enregistrement, la méthode d'analyse des données, la description du simulateur utilisé et de la tâche élaborée sont successivement présentés dans cette partie et mis en relation avec la question de recherche.

### 4.1 Collecte des données de recherche

Le travail analysé ici constitue la 3<sup>e</sup> séance d'une séquence d'enseignement qui en compte 4 et dont l'ensemble traite de la partie *L'énergie au quotidien* du programme 2001 de première S. La première séance était une activité papier-crayon, sous forme de test, visant à réactiver le modèle de la chaîne énergétique enseigné quelques mois auparavant en physique. La deuxième était un TP de neutralisation acide base réalisé en vase Dewar et analysée dans le cadre du modèle énergétique. La troisième est largement décrite ci-dessous, et la quatrième était une activité papier-crayon relative au changement d'état. La séquence réalisée au sein du groupe Sesames a été testée hors classe en janvier avec un binôme d'élèves de terminale S qui n'avait pas traité cette partie du programme quand ils étaient en première. Légèrement améliorée, elle a été réalisée en mai de la même année avec une véritable classe, sous la responsabilité du professeur, et entièrement enregistrée avec des moyens vidéo. Les enseignants participant à l'élaboration des activités Sesames ont pour habitude de laisser leurs élèves se débrouiller avec le texte et de les observer en intervenant au minimum dans la situation proposée. Par ailleurs, afin d'obtenir un maximum d'informations écrites, les professeurs rappellent à chaque séance que les comptes-rendus ne sont pas notés. Pour notre recherche, cette absence de notation favorise un développement de motivation cognitive et autodéterminée.

La 3<sup>e</sup> séance est la seule qui mette en jeu un TICE. Elle nécessite 1 h à 1 h 20 pour que les élèves la traitent à leur rythme. Une classe spécialement équipée d'ordinateurs a été utilisée. Le texte de la tâche est intégralement donné en annexe. Les données analysées sont les transcriptions d'enregistrements audio et vidéo du binôme d'élèves de terminale et de deux binômes de Première. Les comptes rendus de l'ensemble de la classe ont été récupérés.

Le choix de la classe et des élèves a été contraint par la faisabilité de l'étude. Il fallait une classe de première S dont le professeur se donne les moyens d'aller jusqu'au bout du programme officiel (ce qui ne fut pas évident à trouver) dont la dernière partie, non explicitement réutilisée en terminale S, n'est en conséquence pas évaluée au baccalauréat. Afin d'effectuer une étude en situation réelle de classe, nous avons dû fournir à l'enseignant les garanties de faisabilité de la séquence d'enseignement et donc la précéder de la pré-étude hors classe.

Le choix des élèves pour la pré-étude s'est porté sur des élèves volontaires de terminale S qui n'avaient pas reçu, pendant leur année de première S, d'enseignement de cette partie du programme. Il fallait également que l'étude soit menée suffisamment tôt dans l'année pour que ces élèves ne soient pas trop différents d'élèves de première S. Nous avons retenu deux élèves dont l'une (celle à gauche figure 2) avait déjà accepté d'être filmée l'année précédente lors d'une recherche sur l'étude des solutions ioniques (Gandillet *et al.* 2003).

Le choix des élèves de l'étude définitive a été laissé à l'initiative du professeur. Celui-ci avait déjà été impliqué dans d'autres recherches. Nous lui avons demandé de choisir des élèves susceptibles de parler facilement afin d'obtenir des données suffisamment riches, et pas trop lents afin d'aller au terme de la situation dans le temps imparti puisqu'il s'agissait d'une étude en situation naturelle. Nous sommes conscients que ces critères définissent des élèves qui, à la base, ont un bon niveau d'autodétermination et une réactivité autonome. Cependant ce choix est pleinement légitime puisqu'il ne s'agit pas ici de faire une étude psychologique, mais de didactique, et que des élèves, dont l'histoire psychologique dans le cadre de leur scolarité en chimie serait trop marquée, nécessiteraient des analyses complémentaires et pluridisciplinaires. De plus, comme précisé dans le cadre théorique, nous avons pris soin d'aborder notre situation et la motivation dans ce cadre selon deux modèles de la motivation, l'un axé sur l'individu et l'expression de son besoin autonomie, l'autre axé sur la contextualisation de l'effort cognitif qu'il doit mobiliser. Il fallait en outre que ces élèves soient volontaires et puissent obtenir une autorisation parentale.

Chaque binôme enregistré a été filmé de profil avec l'écran de l'ordinateur légèrement tourné vers la caméra. Cette disposition a permis

d'avoir sur une même image vidéo les élèves et l'écran. Elle a contribué à répondre à la question de recherche sur l'importance de la simulation sur les décisions prises par les élèves. La transcription a consisté à reproduire les interactions verbales ainsi que tous les gestes et mouvements du corps qui indiquaient une interaction avec l'ordinateur (figure 2).



Figure 2 • Extrait de l'enregistrement vidéo de la pré-étude permettant de voir les élèves et leur interaction avec l'écran de l'ordinateur.

## 4.2 Méthode d'analyse

L'analyse a consisté à repérer les hypothèses formulées par les élèves, et à voir comment ils les ont soumises à leur sagacité. Nous avons considéré comme hypothèse toute proposition faisant apparaître explicitement la mise en jeu d'au moins une connaissance, suivie d'une interrogation de l'élève qui la formulait, comme par exemple :

Dans la question 1.c – Euh E égal [...] la somme de : / la somme des : énergies des / liaisons / pour chaque atome enfin / tu vois c'que je veux dire quoi (?)

Dans la question 5.a – Et bien, je vais dire que la température augmente hein (?)

Dans ces exemples, l'incertitude exprimée par le « c'que je veux dire quoi » ou le « hein » montre le caractère hypothétique de la proposition qui précède. N'a pas été considérée ce qui pourrait être une hypothèse, mais pour laquelle aucune connaissance n'est explicitée comme par exemple : « on fait comme d'habitude(?) », ou « Attend j'veux voir un truc... non c'est pas ça ».

Nous avons ensuite cherché si l'hypothèse était « mise au travail » en utilisant des données environnant la simulation et fournies par l'écran de l'ordinateur. Un mouvement suffisamment distinct de la tête vers l'écran a été considéré comme une consultation de l'écran ainsi qu'un geste déictique en sa direction (figure 2). Ceci a été possible étant donné notre méthode de prise de données. Nous avons considéré que les données

environnant la simulation étaient utilisées si cette consultation de l'écran intervenait avant la formulation d'une nouvelle hypothèse, et avant la lecture d'une nouvelle question. Nous n'avons compté qu'au plus une consultation de l'écran par hypothèse formulée. Dans les cas où l'élève ne consultait pas l'écran, on a trouvé qu'il pouvait effectuer des calculs ou recevoir des informations de son binôme par exemple.

Nous nous sommes posé la question de savoir si un regard de l'écran correspondait réellement à une interaction avec les informations affichées. Nous n'avons pour cela considéré ces mouvements faciaux que s'ils étaient accompagnés d'une trace, dans la transcription, de la prise en compte d'une partie de l'écran.

### **4.3 Le simulateur utilisé**

Le simulateur utilisé est issu de la collection Micromega® décrite par ailleurs (Le Maréchal & Bécu-Robinault, 2006). Il n'a pas spécifiquement été conçu pour la présente étude. Une présentation de ses possibilités, puis de ses limites, permet, à la fin de cette partie, de justifier que son utilisation permet effectivement de répondre à la question de recherche qui sous-tend cet article.

#### ***Présentation du simulateur***

Le simulateur *Calorimétrie* présente à l'utilisateur essentiellement une situation microscopique (figure 3), et une autre macroscopique (figure 5).

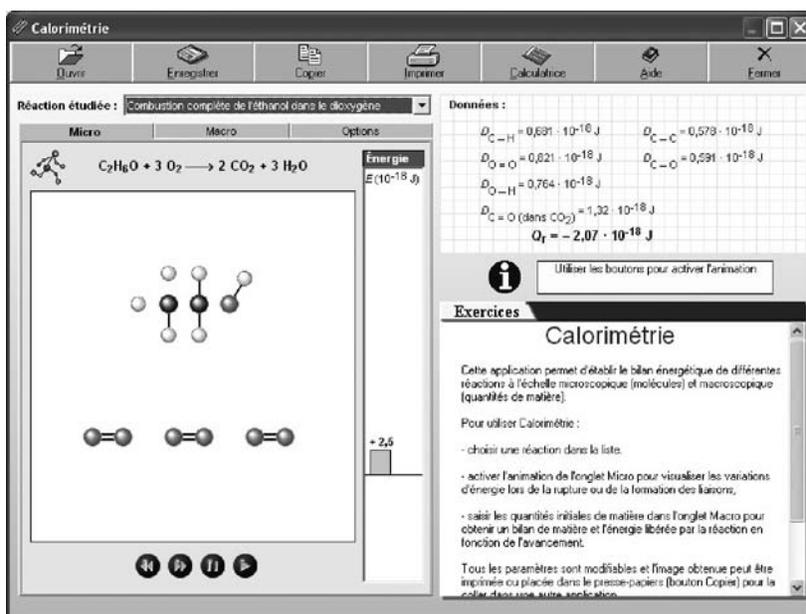


Figure 3 • Écran du simulateur *Calorimétrie* au niveau microscopique. La capture d'écran a été réalisée pendant le déroulement de la simulation, alors que certaines liaisons de l'éthanol sont rompues (centre gauche) et que l'énergie du système est modifiée (histogramme au centre de l'écran) (Garcia, 2001).

L'aspect microscopique de la simulation permet à l'utilisateur de choisir une réaction chimique, parmi sept, dont une étude énergétique peut être réalisée. Ici, il s'agit de la combustion complète de l'éthanol dans le dioxygène, tel qu'il est écrit dans le menu déroulant « Réaction étudiée ». Il s'agit de la simulation utilisée dans la tâche proposée aux élèves (voir Annexe). Cette réaction est également représentée avec une écriture symbolique. Des modèles moléculaires représentent les réactifs en début de réaction. L'animation est initiée par l'utilisateur qui voit, une à une, les liaisons chimiques des réactifs se rompent en même temps qu'un histogramme dynamique (au centre de l'écran) représente la valeur de l'énergie du système moléculaire (en unité  $10^{-18}$  J). Quand toutes les liaisons sont rompues, un réarrangement des atomes est simulé (figure. 4a), puis les nouvelles liaisons chimiques sont formées en même temps que l'énergie du système est décrite jusqu'à l'état final (figure 4b).

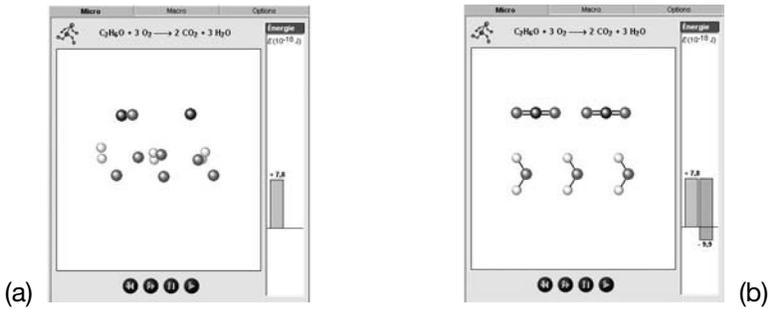


Figure 4 • (a) Extrait de l'écran du simulateur *Calorimétrie* pendant la réorganisation des atomes et (b) à l'état final.

Une autre représentation de cette réaction chimique est proposée au niveau macroscopique (figure 5). L'utilisateur peut toujours choisir une réaction chimique ou conserver la même que celle étudiée au niveau microscopique. Il peut également choisir les quantités de matière initiales des réactifs constituant le système chimique, et considérer que celui-ci est isolé (cas de la figure 5), ou pas. L'animation montre l'évolution des différentes grandeurs impliquées dans cette simulation en fonction de l'avancement : les valeurs en mole des quantités de matière des réactifs et des produits, la valeur  $\Delta E$  de l'énergie échangée avec le milieu extérieur et, qualitativement, l'évolution de l'énergie du système et du milieu extérieur, ainsi que leur température (en bas à gauche).

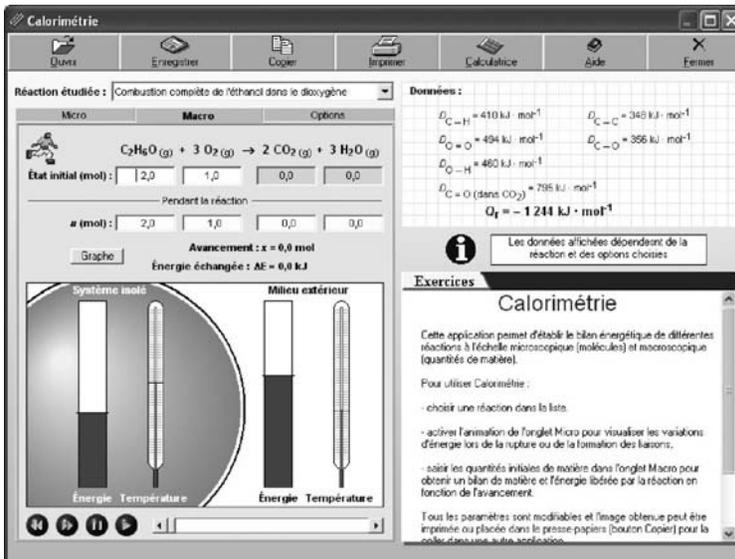


Figure 5 • Écran du simulateur *Calorimétrie* au niveau macroscopique (Garcia, 2001).

### ***Limites de la simulation***

Les 7 réactions simulées sont toutes des oxydations par voie sèche (avec  $O_2$  ou  $Cl_2$ ). Cette limitation, due au modèle des énergies de liaison mis en jeu, ne permet pas d'aborder la thermodynamique des réactions en solution comme les réactions de titrage, qui pourtant posent problème à l'université (Cros & Maurin, 1986).

Aucune représentation concrète, excepté celle des thermomètres, n'est proposée à l'utilisateur. La simulation reste donc au niveau des modèles. Il n'apparaît pas de lampe à alcool par exemple, qui pourrait matérialiser le système chimique simulé.

Le modèle ne considère pas les grandeurs volume et pression du système étudié. Cela ne permet donc pas de préciser si la réaction est simulée à pression ou à température constante. Il n'est donc pas possible de spécifier si l'énergie mise en jeu est une énergie interne ou une enthalpie.

Seul le premier principe de la thermodynamique est considéré, aucune discussion sur la réversibilité des processus n'est donc réalisable. De plus, toutes les réactions proposées sont exothermiques. Même si c'est presque toujours le cas dans l'enseignement, un tel simulateur ne pourrait, par exemple, pas être utilisé pour s'attaquer à une conception telle que « les réactions endothermiques ne peuvent être spontanées » (Johnstone *et al.*, 1977).

### ***Adéquation des possibilités de ce simulateur à la question de recherche***

L'intérêt de ce simulateur pour notre étude tient à la richesse des relations qui peuvent être établies entre différents types de connaissances : microscopique, macroscopique et théorique, au moyen de représentations variées. Par ailleurs, il fournit des données quantitatives comme les énergies de liaisons. Une telle source d'information, clairement organisée dans des fenêtres distinctes, est essentielle pour notre étude où l'on suppose que les élèves qui formulent des hypothèses ont besoin d'accéder à de l'information et de pouvoir la traiter.

La totalité des notions dont il est question dans le programme officiel sont représentées sur ces écrans. Les grandeurs (énergie, température, avancement de la réaction, quantité de matière, énergie de liaison, chaleur de réaction) utilisées sont articulables grâce à la simulation macroscopique. Des données chiffrées sur les énergies de liaisons sont fournies, tant au niveau macroscopique que microscopique, sur les écrans correspondant. Cette possibilité est intéressante puisque Cohen et Ben-Zvi (1992) ont rapporté que des erreurs largement répandues, ce qu'ils

appellent *misconceptions*, peuvent se développer parce que les problèmes associés avec la compréhension d'un grand nombre de concepts abstraits tels que chaleur, énergie, température et énergie de liaison, interviennent dans l'enseignement. Différents types de représentations sont fournis. Par ailleurs, représenter des informations pertinentes et organisées sur ces concepts constitue autant d'atouts pour répondre à la question de recherche puisque, dans la boucle inférieure de la figure 1, l'élève a besoin d'être informé et doit avoir les outils pour traiter cette information.

Le fait qu'il n'y ait pratiquement pas de relation avec le monde des objets perceptibles nous paraît être un avantage, puisque le calcul énergétique recommandé dans le programme officiel correspond à une réaction chimique en phase gazeuse. Les gaz (éthanol, dioxygène, dioxyde de carbone et eau) n'étant pas perceptibles, toute représentation matérielle ne pourrait qu'être trompeuse. On peut penser que les élèves, à ce niveau, ne sont pas à même d'apprécier la différence entre la phase des réactifs dans un calcul d'énergie de combustion, pas plus que l'importance du choix de la température et la pression du système chimique dans les états initial et final.

Le simulateur semble donc pertinent pour notre étude. Il doit cependant être articulé avec une tâche qui oriente son utilisation.

#### 4.4 Tâche mettant en œuvre la simulation

Le texte de la tâche est donné en annexe, et l'analyse *a priori* de quelques questions est décrite ici pour faire comprendre sa relation avec la problématique de l'article.

Les questions 1.c et 1.d sont importantes puisqu'on demande à l'élève de formuler l'interprétation de l'évolution de l'énergie du système (1.c), puis d'en déduire une définition (1.d) pour une notion qu'il ne connaît pas, mais dont la simulation est supposée lui donner le sens: l'énergie d'une liaison chimique. Avec ces questions, on attend que l'élève formule des hypothèses sur la définition, et qu'il voit si elles sont en accord avec les informations présentes dans la simulation. Elles sont formulées en termes simples après avoir été préparées par les questions 1a et 1b. L'élève peut donc s'engager dans une des boucles de la figure 1. Pour certaines questions difficiles, parce que mettant en jeu des concepts nouveaux, comme la 1.c et 1.d, il y a peu de chance que l'élève trouve du premier coup, et il devra donc s'approcher de sa réponse progressivement, fournissant un regard intéressant à notre question de recherche. À la question 1.d, pour formuler une réponse telle que: «c'est l'énergie mise en jeu lors de la rupture ou de la formation de la liaison », l'élève doit donner du sens

à l'animation et éventuellement aux données chiffrées fournies à l'écran. Dans cette construction de sens, la simulation risque d'être essentielle.

La question 2.c demande de prévoir ce que peut être l'animation dans le cas d'une réaction dont on vient de faire écrire l'équation à l'élève (2.b). Cet élève sait que l'ordinateur peut lui donner la réponse, ce qui satisfera de toute façon son besoin de clôture. La situation est donc motivante, et la question de savoir si l'écran va intervenir également dans le processus de prévision est intéressante. On constate que, pour que l'élève puisse réfléchir à une telle question peu habituelle, un certain nombre de connaissances ont été mises en jeu dans l'introduction de cette partie de la tâche puis dans les questions préparatoires 2.a et 2.b.

Un nouveau jeu de prévisions est également proposé aux questions 3.a et 3.c. Il s'agit cette fois de prévoir des valeurs numériques issues d'un calcul que l'élève n'a jamais eu l'occasion de faire, mais dont il a pu construire le sens avec les simulations précédentes. Ce sont des questions problèmes accessibles, pour lesquelles les élèves peuvent mettre à profit les données environnant la simulation pour répondre, et la simulation elle-même pour vérifier. Le besoin de clôture peut donc aussi s'exercer pour ces questions.

Les questions 4.a et 4.c sont précédées d'une définition de l'énergie de liaison formulée au niveau macroscopique, alors que les élèves l'ont élaborée par eux-mêmes au niveau microscopique à la question 1d. Elles mettent à nouveau en jeu des calculs d'énergie de liaison mais, cette fois-ci, l'élève est conduit à fournir des valeurs macroscopiques. Il faut donc que l'élève mette en jeu le nombre d'Avogadro, ce qui constitue généralement une difficulté (Staver & Lumpe, 1995). Il faut ensuite (4.c) que l'élève soit capable de passer de l'énergie de liaison à l'énergie de réaction mise en jeu avec des conditions particulières. Il ne peut le faire sans transférer ce qui a été vu au niveau microscopique, avec la simulation au niveau macroscopique. On attend à nouveau que l'élève résolve ce problème par étape, avec à chaque fois une possibilité d'estimer le taux de confiance qu'il accorde aux hypothèses qu'il formule.

La question 5.b fait intervenir un système isolé. On sort du strict cadre de l'énergie en relation avec la chimie pour aborder ce qui a été vu en physique quelques mois auparavant, et qui a été rappelé dans la première tâche au début de la séquence d'enseignement. Ce changement de cadre est une difficulté pour lequel on attend que l'élève avance progressivement. Le fera-t-il en utilisant la simulation ?

Les questions 6.a et 6.c sont de véritables problèmes de thermodynamique chimique qui nécessitent que l'élève ait intégré ce qui a été introduit pendant la séance, et que soit fait appel aux notions de stoechiométrie et d'avancement d'une réaction chimique. On attend à

nouveau que l'élève utilise la boucle du bas de la figure 1 pour arriver au fait qu'il doit multiplier l'énergie de la réaction par l'avancement maximal de la réaction. On est, en 6.a, dans les proportions stoechiométriques et, en 6.c, en présence d'un réactif limitant. Ce sont autant de difficultés dont la résolution peut être motivante, qu'elles puissent ou non être réalisée avec le simulateur.

## 5 RÉSULTATS

Pour chaque question où est apparue au moins une hypothèse de la part des élèves, le nombre d'hypothèses formulées a été reporté dans les tableaux 1 à 3. Le nombre de fois que l'hypothèse a donné lieu à une consultation de l'écran est indiqué juste en-dessous. Par exemple pour la question 1.c (tableau 1), l'élève a formulé 5 hypothèses différentes (voir les extraits ci-dessous) avant de donner une réponse pour laquelle son taux de confiance est suffisant. Cela signifie qu'il a parcouru 5 fois la boucle inférieure de la figure 1. Pendant ces 5 boucles, 4 ont mis en jeu le simulateur ou les données qui l'accompagnent, d'où le nombre indiqué dans la ligne « Nombre de consultations », colonne 1.c, du tableau 1. Ces 5 hypothèses apparaissent dans les dialogues ci-dessous, lors de la recherche de la réponse à la question 1.c :

### Hypothèse 1

Me29: Ben t'as une certaine énergie pour une certaine liaison  
(10s)

Les étudiants cherchent leur calculette mais ne s'intéressent pas à l'écran. C'est un cas où l'avancée des élèves dans la boucle du bas de la figure 1 ne met pas en jeu la simulation.

### Hypothèse 2

Ma36: Moi j'ai regardé si hm: j'ai fait 7 fois par 1, 3 moins 4, 8 fois 2 / pour voir si c'était: (1s) / proportionnel

Au tour de parole 38, l'élève Ma montre l'écran où il constate, avec les données, que les énergies des liaisons C C sont différentes des énergies des liaisons C H, et donc que son hypothèse de proportionnalité ne tient pas. Il y a eu une interaction avec l'écran avant que l'hypothèse suivante ne soit émise, interaction qui lui a permis de modifier sa connaissance des énergies de liaison.

### Hypothèse 3

Ma52: Ouais voilà ouais en fait c'est là / 1 c'était 2 liaisons / je crois c'était 2 liaisons carbone hydrogène donc c'est deux fois 0, 682 (2s) donc ça fait 1, 2 (2s) c'est vrai (10s)

Au tour de parole 53, l'élève Me écrit en regardant l'écran puis pointe l'écran comme sur la figure 2. Il s'agit d'une interaction avec l'écran en disant « on peut le dire ». Il s'agit d'une confirmation de l'hypothèse qui vient d'être émise. Cela permet au binôme d'avancer dans la réflexion et cela s'est fait à l'occasion d'une interaction avec l'écran.

### Hypothèse 4

Ma54: C'est ouais ouais c'est E / c'est E égale / hm:  
Me55: Y a une certaine énergie en fait

Les élèves regardent ensuite alternativement l'écran et leur feuille.

### Hypothèse 5

Ma60: Euh E égal

Me61: Le nombre de fois

Ma62: La somme de: /la somme des: énergies des / liaisons / pour chaque atome enfin tu vois ce que je veux dire quoi (?)

Au tour de parole 63, Me confirme en regardant l'écran.

### Réponse donnée (correcte à une convention de signe près)

Ma70: Ouais ben dis l'énergie de liaison est l'énergie libérée à chaque fois qu'une liaison se casse (5s)

On constate qu'à chaque fois qu'un (ou plusieurs) tour de parole est considéré comme hypothèse, des connaissances sont mises en jeu, et un doute est exprimé; puis, 4 fois sur 5, l'écran est ensuite consulté, parfois pour infirmer (hypothèse 2), ou pour confirmer (hypothèse 3 et 5). Dans le cas de l'hypothèse 4, on ne peut pas dire quel est le rôle de l'écran, mais celui-ci est effectivement consulté.

Un travail analogue sur l'ensemble des transcriptions a permis d'établir les tableaux 1 à 3, dans lesquels ne sont consignées que les questions pour lesquels il y a eu formulation d'hypothèses pour le binôme correspondant.

Questions	1c	2c	3a	3c	4a	4c	5b	6a	6c
Nombre d'hypothèses	5	1	4	4	2	4	2	1	1
Nombre de consultations	4	1	2	4	1	3	1	0	1

Tableau 1 • **Nombre d'hypothèses formulées et de consultations de l'écran qui ont suivi. Cas du binôme Me/Ma d'élèves-test de terminale.**

Avec le binôme Me/MA (Tab. 1), 71 % des 24 hypothèses ont mis en jeu des informations environnant la simulation. Ceci indique que le TICE a joué un rôle lors de l'élaboration de la réponse définitivement formulée. Ce rôle sera précisé ci-dessous, dans le paragraphe relatif au taux de confiance.

Questions	1.c	1.d	2.a	2.c	3.a	3b	3.d	4.d	5.b
Nombre d'hypothèses	1	2	1	3	1	1	2	1	1
Nombre de consultations	1	1	0	2	1	1	2	1	1

**Tableau 2 • Nombre d'hypothèses formulées et de consultations de l'écran qui ont suivi. Cas du binôme Ro/Ju, élèves de première S.**

Si le pourcentage d'utilisation du TICE par le binôme Ro/Ju (Tab. 2) est pratiquement le même que pour le binôme Me/Ma, 75 %, on trouve deux fois moins d'hypothèses. Deux raisons peuvent être avancées pour cette différence: (1) le binôme est brillant, il s'agit des deux meilleurs élèves de la classe, ce que nous n'avons su qu'une fois l'expérimentation réalisée, et on constate que la tâche est réalisée avec plus de sûreté, les propositions étant faites sur des bases solides; (2) un certain nombre de propositions pourraient avoir un statut d'hypothèse, mais non suivies d'un marqueur lexical qui montre l'interrogation, nous ne les avons pas comptabilisées; nous avons préféré adopter un décompte strict du nombre d'hypothèses, plutôt que de se baser sur des inférences moins fondées.

Questions	1.c	1.d	2.a	2.e	3.a	3.b	3.c	4.a	4.c	4.d	5.b	6.a
Nombre d'hypothèses	2	2	1	4	3	1	3	2	3	1	3	2
Nombre de consultations	1	1	1	4	3	1	3	2	2	1	3	2

**Tableau 3 • Nombre d'hypothèses formulées et de consultations de l'écran qui ont suivi. Cas du binôme Sy/AI, élèves de première S.**

Si la tendance se confirme avec 89 % d'hypothèses suivies d'une consultation du TICE, quelques différences sont notables avec le binôme Sy/AI. Ces élèves émettent plus d'hypothèses (27 contre 24 et 13) dans plus de questions (12 contre 9 et 9). La lecture de la transcription montre également que le binôme est plus faible, il hésite sur des connaissances anciennes (multiplicité de la liaison dans  $Cl_2$ ) et nouvelles (différence entre endo et exothermique vue à la séance précédente).

## 6 DISCUSSION

Ces résultats permettent d'aborder et de discuter la qualité du fonctionnement en autonomie du système constitué des élèves en interaction avec notre situation d'apprentissage de l'énergie en chimie. Cette qualité est abordée ici sous deux angles : (i) le maintien d'une autodétermination tout au long de l'activité révélant que celle-ci permet et satisfait le besoin d'autonomie des élèves, et (ii) l'engagement cognitif impliquant l'utilisation de la simulation à des fins de recherche de construction et de validation du savoir ciblé par l'activité. Ces deux aspects qualitatifs déterminent des formes de motivations garantissant une implication et un apprentissage construit chez les élèves. Ceci nous permettra alors de conclure quant à l'intérêt de la simulation pour l'enseignement de l'énergie mise en jeu lors d'une réaction chimique.

### 6.1 Autonomie et motivation en présence d'une simulation

La recherche d'une situation permettant un fonctionnement autonome satisfaisant et une motivation régie par un besoin cognitif a été essentielle dans la conception de la tâche. Ces notions éclairent également la lecture des transcriptions des élèves, ce qui va apparaître successivement dans les discussions sur la simulation en tant que ressource, sur le taux de confiance des élèves, et sur leur autonomie.

#### *La simulation comme ressource*

Le modèle cognitif de la motivation (Small & Venkatesh, 2000), axé sur l'interaction avec la situation et non centré sur l'histoire psychologique de l'individu, a pu être appliquée à notre situation vécue par trois binômes de caractéristiques différentes : l'un de terminale S hors classe, un autre, tête de classe en première S, et le dernier dans la même classe, mais bien moins brillant, ces deux derniers pendant le cours normal de l'enseignement. L'engagement dans la boucle (figure 1) a pu être mis en évidence pour chaque binôme et, 4 fois sur 5 en moyenne, la simulation est intervenue comme ressource permettant aux élèves de continuer de réfléchir. Cela ne signifie pas que la simulation a été déterminante, mais au moins que la situation l'a mise en œuvre de manière satisfaisante. En effet, nous avons constaté que ce comportement ne s'atténue pas au cours de l'activité. Par exemple, à la question 1.c :

Ro51 formule une hypothèse : En fait peut-être c'est la rupture des liaisons qui fait augmenter l'énergie.

Ro55, 4 tours de paroles après, en montrant l'écran: ça fait quand elles se reforment que ça redescend.

Au tour de parole 51, Ro a émis une hypothèse et le « peut-être » indique que son taux de confiance est insuffisant pour l'accepter comme réponse. Au tour de parole, 57, Ro écrira cette hypothèse comme réponse. Il aura acquis une confiance suffisante parce qu'il a vu la simulation en 55.

### ***Taux de confiance***

Bien que le taux de confiance apparaisse comme central dans la théorie cognitive de la motivation de Small et Venkatesh (2000), il ne nous a pas été possible de quantifier cet état, ce qui aurait nécessité une étude en soi (entretien de confrontation, questionnaire post-activité). Cependant, nous avons pu constater des différences dans les états de confiance suivant les binômes et suivant les hypothèses. Nos observations sont totalement en accord avec la théorie de la motivation cognitive, qui repose sur de nombreux autres travaux de psychologie cognitive et notamment ceux de Kelley (1971), montrant que le taux de confiance est inversement proportionnel au nombre d'hypothèses émises. Ainsi, la quantité importante d'hypothèses émises par le binôme Me/MA (24 hypothèses – tableau 1) permet d'une part de considérer que le binôme Me/MA avait un taux de confiance limité dans ses propositions de réponse, mais d'autre part que le TICE a joué un rôle dans l'amélioration de ce taux de confiance puisqu'il a été consulté dans 71% des cas. Ceci est dû au fait que plus on reste sur la boucle du bas de la figure 1, plus les hypothèses s'affinent et, chemin faisant, deviennent plus proches les unes des autres au niveau de leur contenu. Nous avons constaté que le binôme le moins fort émet plus d'hypothèses que les deux autres, car il a besoin de plus d'ajustements. Ceci prouve en premier lieu que ce binôme, bien que confronté à plus de difficultés, et donc à plus de doute, reste dans un état de motivation cognitive. Il n'agit pas parce qu'il est animé d'un besoin de clôture, en formulant peu d'hypothèses, et en étant trop facilement satisfait. Par ailleurs ce même binôme, bien que développant une bonne qualité de motivation cognitive dans notre situation, atteint parfois un palier quant à l'amélioration de ses hypothèses. Il cesse alors ses recherches sans avoir satisfait à son exigence cognitive. Par exemples, certaines réponses ont été considérées comme définitives avec un faible taux de confiance par le binôme, Sy/AI:

Question 1.d – Dire ce qu'est pour vous l'énergie d'une liaison chimique?

Après 11 tours de paroles sur cette question :

Sy101 : C'est pour moi c'est enfin / chimiquement mais je veux dire c'est en réalité c'est l'électron / ça c'est électrique / ça c'est un truc

AI102 : [hmm]

Sy103 : [qui est chargé électriquement]

AI104 : Ben on passe à un autre / non (?)

Sy105 : Ouais enfin ouais / j'sais pas hein(?)

AI106 : Ouais si on n'a pas d'idée [et ils passent à la question suivante]

Les élèves ont, semble-t-il, associé liaison à électron (ils ont entendu dire en classe de seconde qu'une liaison était constituée de deux électrons partagés), et énergie à électrique (lien que leur cours de physique ou leurs observations quotidiennes favorisent). Ils ont bien regardé l'animation au tour de parole 94, mais n'ont pas apparemment pu s'en servir pour améliorer leur réponse.

La satisfaction peut être obtenue même dans le cas où la question n'a pas d'intérêt scientifique. Par exemple, Sy et AI à la question 2.c se sont inutilement posé la question de savoir s'il fallait rompre la liaison HH avant la liaison ClCl. Ils ont proposé une réponse et, lors de la vérification, la simulation a fait, par hasard, ce qu'ils avaient prévu. On a alors entendu AI 160 : Superbe / c'est ce qu'on attend / remets. Même chez ce binôme faible, en situation d'efficacité scientifique peu intéressante, la simulation peut donc apporter de la satisfaction. Cette situation peu paraître regrettable, et l'on aurait apprécié que le système déjouât l'hypothèse inintéressante des élèves, au lieu de renforcer leur conviction. Du point de vue didactique, le professeur n'a pas pu se rendre compte que ces deux élèves prêtaient de l'importance à l'ordre de rupture, et le cours normal de l'enseignement pourra présenter une situation mettant en défaut l'hypothèse erronée. Celle-ci se trouvera alors corrigée d'elle-même. Du point de vue de notre recherche, force est de constater que même dans de tels cas, la simulation favorise la satisfaction.

### ***Autonomie***

Du point de vue du fonctionnement en autonomie de l'activité d'apprentissage de notions concernant la liaison chimique, des résultats satisfaisants ont été obtenus. Tout d'abord, les trois binômes n'ont eu besoin que d'un seul appel au chercheur dans le cas de la pré-expérimentation, et d'un appel au professeur pendant la séance en classe. Pendant la pré-expérimentation, l'appel au chercheur résultait d'une question mal posée qui a dû être réécrite. Cela montre que la qualité de la formulation de la

tâche est essentielle dans la recherche d'un travail en autonomie à faire faire à des élèves. Les élèves ont donc exprimé leur autonomie sans frustration pendant la quasi intégralité du temps didactique. Ceci a des effets positifs sur l'affect, sur la valeur du moi, et sur la motivation comme l'ont montré tous les théoriciens de l'autodétermination. De plus, ces appels n'étaient pas une demande concernant une difficulté à comprendre des données fournies par le simulateur :

Sy393 : Je suis sûr que l'athermique ça produit rien

Al394 : Athermique ouais mais endo

Sy395 : Endo franchement / je suis pas sûr

Al396 : Madame (20s) exothermique c'est quand ça produit

Les élèves étaient bloqués parce qu'il leur manquait une information de la séance précédente qui ne se trouve pas dans la simulation. Une meilleure connaissance du cédérom qui possède également un cours doté d'un moteur de recherche aurait pu leur permettre de gérer, en autonomie, cette difficulté.

Dans le cas Ma/Me, nous avons constaté que, jusqu'à la question 1.c, les élèves avaient respecté le protocole d'utilisation du simulateur. Cependant, quand il leur a été demandé de proposer une interprétation à l'évolution de l'énergie du système pendant l'animation, on a assisté à l'apparition de connaissances sur la proportionnalité qui n'avait pas été anticipées par le texte de la tâche ni par l'analyse *a priori*. Un tel apport de connaissances montre une dévolution au problème (Brousseau, 1998), que nous pouvons considérer comme traduisant d'un processus mû par une autonomie volontaire, où l'élève considère la tâche proposée comme susceptible de valoriser son développement personnel par un processus d'identification ou d'introjection (Deci & Ryan, 2000)

Me35 : Ouais c'est bizarre / t'as fait quoi toi (?)

Ma36 : Et moi j'ai regardé si hm : j'ai fait 7 fois par 1, 3 moins 4, 8 fois 2 / pour voir si c'était (1s) / proportionnel

Des connaissances personnelles sont apparues dans les transcriptions des trois binômes. Elles ont utilement servi à ce que ces derniers puissent répondre aux questions posées, montrant leur investissement réel. Par ailleurs, le professeur avait annoncé que cette séance de TP n'était, comme d'habitude, pas notée. L'enjeu de reconnaissance institutionnelle était donc absent, ce qui renforce l'idée que l'autonomie observée ne s'inscrit pas dans le cadre d'un contrôle externe.

On a pu constater, avec l'extrait fournissant les 5 hypothèses, au début de la partie 6, qu'en autonomie dans la situation proposée, les élèves

avaient pu construire des connaissances étonnamment élaborées. Pouvoir énoncer en moins de 4 min que « l'énergie de liaison est l'énergie libérée à chaque fois qu'une liaison se casse » nécessite qu'un grand nombre de connaissances aient été agencées avec finesse (même si la réponse correcte est « quand la liaison se forme »), et on a vu à quel point les informations variées du simulateur ont été utilisées. D'autres apprentissages importants ont été relevés et sont discutés dans la partie suivante.

## **6.2 Simulation et qualité de l'apprentissage de l'énergie d'une liaison chimique**

La méthode de collecte des données de recherche ne donne pas accès à une information concernant l'apprentissage à long terme au moyen de la séquence d'enseignement que nous avons développée. En revanche, nous avons montré que les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage ont effectivement été mises en œuvre par les élèves (El Bilani & Le Maréchal, 2005). Nous allons voir ici ce que la simulation a apporté à l'apprentissage de quelques incontournables concepts de la chimie.

### ***Simulation et exothermicité d'une réaction chimique***

De Vos et Verdonk (1986) ont rapporté la difficulté qu'ils ont eu pour enseigner à des élèves de 15 – 16 ans la notion d'exothermicité d'une réaction. Ils avaient défini une réaction endothermique comme une réaction qui consomme de la chaleur, et ont utilisé cette définition dans un contexte expérimental. Notre approche fut différente puisque nous n'avons pas défini l'exothermicité comme propriété d'une réaction vis-à-vis d'un concept aussi abstrait qu'un échange de chaleur, mais en la basant sur un critère simple (l'élévation d'une température), et nous avons fourni une simulation qui mettait en œuvre un thermomètre. Il est apparu que si la définition (déclarative – cf. la difficulté de Sy/AI, 7.1.3) de l'exothermicité était connue, son utilisation (procédurale) ne posait pas de problème dans ces conditions. Par rapport à l'expérience réelle mise en œuvre par de Vos et Verdonk, notre simulation a épuré la situation, et la figure 5 permet de comprendre pourquoi les élèves ont pu raisonner avec les deux thermomètres simulés (du système étudié et du milieu extérieur). Les notions d'énergie, d'échange d'énergie sous mode chaleur, et de température étaient probablement plus accessibles avec un enseignement impliquant une simulation de ce type.

### ***Simulation et conceptions de la réaction chimique***

Parmi les connaissances, en désaccord avec le savoir savant, repérées dans la littérature à propos de la réaction chimique, celle d'agent-patient (Andersson, 1986) consiste à imaginer que la réaction chimique résulte d'un réactif qui agit (sans se transformer) sur un autre qui se transforme. Ne dit-on pas dans le langage courant que l'acide attaque le fer, et non que le fer attaque l'acide ? L'animation, en montrant la décomposition en atomes de chaque réactif, participe à la lutte contre cette conception puisque les deux réactifs se transforment visiblement.

Pour des élèves de 15 ans, la conception d'addition des réactifs (et non leur interaction) a été observée (Ben-Zvi *et al.*, 1987). La réaction chimique est alors vue comme le collage de réactifs entre eux, et non le résultat de ruptures et de formations de liaisons. Là encore, la simulation doit être efficace puisqu'elle propose une alternative à la conception du collage des réactifs.

Les élèves se construisent une idée de ce qu'est une réaction chimique avec les connaissances qui sont les leurs, ce qui conduit à des conceptions que nous avons dénoncées. Leur fournir une représentation alternative sur la façon dont on peut traiter d'une réaction chimique est donc bénéfique. Celle montrée par l'animation a le mérite d'être en cohérence avec la thermodynamique chimique. Il ne faut toutefois pas laisser penser que la simulation représentée correspond à un mécanisme réactionnel tel que les étudiants qui poursuivent des études scientifiques le découvriront en chimie organique 2 à 3 ans après. Ce qui est proposé est un chemin, certes peu probable, mais dont l'intérêt est de permettre une détermination théorique de l'énergie de réaction.

### ***Simulation et liaison chimique***

La liaison chimique a été abordée sous de multiples aspects par la recherche en didactique et l'utilisation de la tâche incluant la simulation présentée ici y contribue. À notre connaissance, c'est la première fois qu'une approche didactique de l'énergie de liaison est rapportée. La confusion entre les liaisons covalentes et les interactions ioniques, rapportées par Butts et Smith (1987), en terminale (grade 12), ou Taber (1994) au grade 11, a plus de chance d'être évitée en faisant usage de la simulation de *Calorimétrie* que celle décrite par Ardac et Akaygun (2004). Celui-ci montre en particulier ce qui est donnée figure 6, où la même représentation est adoptée pour un composé moléculaire  $O_2$  et un composé ionique  $MgO$ , juxtaposé à une vidéo d'une combustion d'un ruban de magnésium. Si Taber (1994) remarque que des élèves évoquent la « molécule  $NaCl$  », Ardac et Akaygun (2004) suggèrent aux utilisateurs de son interface l'utilisation de la notion de « molécule  $MgO$  ».

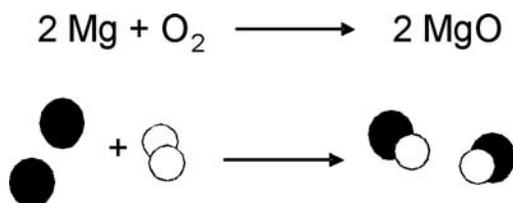


Figure 6 • Extrait d'un écran donné en exemple par Ardac et Akaygun (2004) pour enseigner le modèle particulaire en relation avec la quantité de matière.

À la suite d'une étude de cas sur un élève de grade 11 qui a été suivi sur une longue période lors de l'apprentissage de la notion d'atome et de liaison chimique, Harrison et Treagust (2000) concluent sur l'évolution qui s'est produite sur le plan de la connaissance du modèle. La liaison chimique est représentée par plusieurs modèles; un seul ne suffit pas à appréhender la totalité du concept. Apprendre ce qu'est une liaison chimique nécessite de changer ce que l'on sait d'un modèle, mais aussi de changer de modèle. C'est ce que notre simulation montre, puisqu'au niveau où en étaient les élèves avant cet enseignement, aucune approche de la réaction chimique au moyen des énergies de liaison ne leur avait été proposée.

L'élève naïf, qui découvre un modèle au travers d'une simulation lui paraissant réelle, risque de ne pas chercher à aller plus loin (Harrison & Treagust, 2000). Dans notre étude, l'utilisation quantitative du modèle grâce aux énergies de liaison permet de continuer à donner du sens à la représentation bien au-delà de l'animation. Celle-ci n'est plus une fin en soi, mais un véritable moyen de pouvoir faire des calculs. Les périodes de calcul se sont trouvées être, pour les trois binômes, un travail qui a pris du temps, que ce soit à la question 1.c sur la formulation de la notion d'énergie d'une liaison chimique au cours duquel, pour le binôme Me/Ma par exemple, des hypothèses de proportionnalité ont été testées puis réfutées, ou quand des calculs étaient explicitement demandés (3.1, 3.c, 4.a, 4.c, etc.).

## CONCLUSION

La simulation *Calorimétrie* permet de faire comprendre les notions de chaleur de réaction et d'énergie de liaison, ce qui est une originalité par rapport aux simulateurs les plus couramment utilisés dans l'enseignement de la chimie. Elle allie modèles qualitatif et quantitatif, représentations microscopique et macroscopique, et permet d'être impliqué dans une variété d'approches de l'étude de la réaction chimique. Son utilisation

semble être un moyen pertinent de lutte contre de nombreuses conceptions relatives à la description microscopique de la matière, à la notion de liaison chimique, ou à la réaction chimique. Nous avons montré qu'une situation incluant une simulation pouvait permettre l'expression de l'autonomie et la satisfaction. Une telle situation constitue donc un précieux outil de travail utilisable par l'élève. Il y gère son propre cheminement et sa construction de connaissances. De plus nous avons évalué, par des marqueurs de la motivation cognitive en situation, que les élèves répondent par ce que les auteurs du modèle appellent le « besoin cognitif », et qu'il n'y a jamais dans nos observables l'expression du besoin opposé, défini comme le « besoin de clôture ». La qualité de l'apprentissage en condition d'expression du besoin d'autonomie et de satisfaction de ce besoin, ainsi que, par ailleurs, dans des situations construites dans le but de permettre la motivation cognitive, a été largement étudiée. Il s'avère que la qualité de l'apprentissage y est meilleure que lorsque l'autonomie est bloquée, ou que des pressions externes dues à la situation sont présentes. Notre étude corrobore ce type de résultats puisque, bien que n'ayant pas de dimension statistique, elle montre que la motivation observée est bien parallèle à un apprentissage de qualité.

Dans la situation proposée, autonomie et motivation ont pu être observées, et ont contribué à la qualité de l'apprentissage. Il n'est pas pour autant envisageable qu'un tel travail se passe du professeur. Le rôle de celui-ci reste à étudier, tant dans la séance où la simulation est mise en œuvre, que pendant la suite de l'enseignement. Son rôle sur la structuration des connaissances qui ont émergées en autonomie est probablement essentiel, comme il l'est lors de leur utilisation ultérieurement.

## BIBLIOGRAPHIE

- ABRAHAM M.R., GRYBOWSKI E.B., RENNER J.W., MAREK E.A. (1992). Understanding and misunderstanding of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, p. 105–120.
- ANDERSSON B. (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, vol. 8, p. 155–171.
- ARDAC D., AKAYGUN S. (2004). Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 41 (4), p. 317–337.
- BEN-ZVI R., EYLON B., SILBERSTEIN J. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, vol. 63, p. 64–66.
- BEN-ZVI R., EYLON B.-S., SILBERSTEIN J. (1987). Students' visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, vol. 24, p. 117–120.
- BLACK A. E., DECI E. L. (2000). The effects of instructors' autonomy support and students' autonomous motivation on learning organic chemistry: a self-determination theory perspective. *Science Education*, vol. 84, p. 740–756.

- BOO H. K. (1998). Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 35 (5) p. 569–581.
- BROUSSEAU G. (1998) *La théorie des situations didactiques*, Grenoble: La pensée sauvage éditions.
- BUTTS B., SMITH R. (1987). HSC chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. *Research in Science Education*, vol. 17, p. 192–201.
- COHEN I., BEN-ZVI R. (1992). Improving student achievement in the topic of chemical energy by implementing new learning materials and strategies. *International Journal of Science Education*, vol. 14, p. 147–156.
- COLL R. K., TAYLOR N. (2002). Mental models in chemistry: senior chemistry students. mental models of chemical bonding. *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, vol. 3 (2), p. 175–184.
- COLL R.K., TREAGUST D.F. (2002). Learners' mental models of covalent bonding. *Research in Science and Technological Education*, vol. 20 (2), p. 241–268.
- CROS D., MAURIN M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, vol. 8, p. 303–313.
- DE VOS W., VERDONK A. (1986). A new road to reactions. Part 3: Teaching the heat effect of reactions. *Journal of Chemical Education*, vol. 63, p. 972–974.
- DECI E.-L., RYAN R.-M. (2000) « Intrinsic and extrinsic motivations: classic definitions and new directions » *Contemporary Educational Psychology*, vol. 25, p. 54–67.
- DECI E.-L., RYAN R.-M. (1987) « The support of autonomy and control behaviour » *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 53, n° 6, p. 1024–1037.
- EL BILANI R., LE MARÉCHAL J.-F. (2005). L'articulation entre anciennes et nouvelles connaissances : apprentissage de l'énergie d'un système chimique enseigné au moyen d'un TICE. *4<sup>e</sup> rencontres de l'ARDIST*, 12-15 octobre 2005, Lyon, Éd. de l'INRP, p. 143-150.
- FRIEDEL A.W., MALONEY D.P. (1992). An explanatory classroom based explanation of students' difficulties with subscripts in chemical formulas. *Science Education*, vol. 76, p. 65–78.
- GARCIA G. (2001). Physique et chimie en première S, cédérom élève. Micromega®, Hatier.
- GANDILLET E., DUPONT C., LE MARÉCHAL J.-F. (2003). Students' gestures as an extra observable to scaffold the « Entity-Quantity » alternative conception for ionic solutions chemistry. *Esera. Noordvikerout* (Holland), August 2003.
- HAIDER A.H., ABRAHAM M.R. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 28, p. 919–938.
- HARRISON A.G., TREAGUST D.F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, vol. 84, p. 352–381.
- JOHNSTONE A.H., MACDONALD J.J., WEBB G. (1977). A thermodynamic approach to chemical equilibrium. *Physics Education*, vol. 12, p. 248–251.
- KELLER J.M. (1983). Motivational design of instruction. In C.M. REIGELUTH, ed., *Instructional design theories and models: an overview of their current status*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- KELLY H.H. (1971). Attribution in social interaction. In E.E. JONES, D.E. KANAUSE, H.H. KELLY, R.E. NISBETT, S. VALENS & B. WEINER, (éd.) *Attribution: perceiving the causes of behavior*. Morristown, NJ: General Learning Press.
- KRUGLANSKI A.W. (1989). *Lay epistemics and human knowledge: cognitive and motivational bases*. New York: Plenum.

- KRUGLANSKI A. W., WEBSTER D. M. (1996). Motivated closing of the mind : « Seizing » and « freezing ». *Psychological Review*, vol. 103, p. 163–183.
- LE MARÉCHAL J.-F., BÉCU-ROBINAUT K. (2006). La simulation en chimie au sein du projet Microméga®. *Aster*, n° 43, p. 81-108.
- PETERSON R., TREAGUST D., GARNETT P. (1986). Identification of secondary students' misconceptions of covalent bonding and structure concepts using a diagnostic instrument. *Research in Science Education*, vol. 16, p. 40 – 48.
- PIERRO A. T., CICERO L., BONAIUTO M., VAN KNIPPENBERG D., KRUGLANSKI A. W. (2005). Leader group prototypicality and leadership effectiveness: the moderating role of need for cognitive closure. *The Leadership Quarterly*, vol. 16, p. 503–516.
- ROUX M., LE MARÉCHAL J.-F. (2003a). Introducing dynamic equilibrium before static equilibrium by means of computer modelling. Noordvikerout (Holland), August 2003  
<http://gric.univ-lyon2.fr/membres/lemarech/Publications/EsEquil.pdf> [lien vérifié le premier octobre 2007, NDLR]
- ROUX M., LE MARÉCHAL J.-F. (2003b). Équilibre chimique : du concept-procédé au concept-objet au moyen d'un simulateur. 3<sup>e</sup> Rencontre de l'ARDIST, Toulouse, Octobre 2003.
- SHELDON K.M., ELLIOT A.J., KIM Y. & KASSER T. (2001). What is satisfying about satisfying events? Testing 10 candidate psychological needs. *Journal of personality and social Psychology*, vol. 80 (2), p. 325–339.
- SMALL R. V., VENKATESH M. (2000). A cognitive-motivational model of decision satisfaction. *Instructional Science*, vol. 28, p. 1–22.
- STAVER J. R., LUMPE A. (1995). Two investigations of students' understanding of the mole concept and its use in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 32 (2), p. 177-193.
- TABER K. (1994). Misunderstanding the ionic bond. *Education in Chemistry*, vol. 31, p. 100–102.
- TABER K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, vol. 2 (2), p. 123-158.
- TABER K. S. (2003). Understanding ionisation energy: physical, chemical and alternative conceptions. *Chemistry Education : Research and Practice*, vol. 4 (2), p. 149-169
- TABER K. S., WATTS M. (1996). The secret life of the chemical bond: students. anthropomorphic and animistic references to bonding. *International Journal of Science Education*, vol. 18, p. 557-568.
- WILD ET AL. (1997) « Perceiving others as intrinsically or extrinsically motivated effect on expectancy formation and task engagement » *Personality Social Psychology Bulletin*, vol. 23, p. 837-848.
- YARROCH W.L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 22, p. 449–459.

## ANNEXE

### 3<sup>e</sup> tâche

#### *Simulation*

1. Ouvrir le simulateur Microméga® *Calorimétrie*, si ce n'est pas fait. Cliquer sur l'onglet « Micro ». Choisir comme réaction étudiée, la combustion complète de l'éthanol dans le dioxygène.
2. La fenêtre d'animation montre l'état initial d'un système chimique constitué d'une molécule d'éthanol et de trois molécules de dioxygène. Son niveau d'énergie (à droite) est considéré comme nul à l'état initial.
3. Reporter sur votre feuille les formules développées représentées sur l'écran.
4. Commencer l'animation en cliquant sur ► puis arrêter l'animation au bout de 3 ou 4 secondes en cliquant sur ;.

#### **Question 1**

- a. -À ce stade de la simulation, quelles liaisons chimiques ont été cassées lors de l'animation ?
- b. Quelle est alors la valeur de l'énergie du système ?
- c. Proposer une interprétation à l'évolution de l'énergie du système pendant l'animation. (pour répondre on pourra être amené à recommencer l'animation en cliquant sur ◀ puis sur ;).
- d. En vous aidant de l'animation, dire ce qu'est, pour vous, l'énergie d'une liaison chimique.

On s'intéresse maintenant à un autre système chimique. On considère un système chimique constitué d'une molécule  $H_2$  et d'une molécule  $Cl_2$ . Un tel système chimique peut évoluer en produisant du chlorure d'hydrogène HCl.

#### **Question 2 (sans utiliser le simulateur)**

- a. Écrire les formules développées des entités mises en jeu dans un tel système chimique.
- b. Écrire l'équation chimique qui représente la réaction.
- c. Prévoir ce que serait l'animation qui représente cette réaction chimique.

Avec le simulateur, choisir la réaction « Combustion du dihydrogène dans le dichlore ». Sur la fenêtre de droite, les énergies de liaisons sont indiquées.

### Question 3

- Prévoir à l'aide d'un calcul simple l'énergie mise en jeu lors de cette réaction.
- Vérifier en effectuant la simulation.
- Prévoir, de même, quelle énergie serait mise en jeu dans la réaction d'une molécule de méthane  $\text{CH}_4$  avec deux molécules de dioxygène pour donner une molécule de dioxyde de carbone et deux molécules d'eau.
- Vérifier le calcul avec la simulation.

### *Énergie de liaison : aspect macroscopique*

#### Définition

L'énergie de liaison, notée  $D_{A-B}$ , est l'énergie à fournir à une température donnée pour dissocier une mole de molécule A-B à l'état gazeux en une mole d'atomes A et une mole d'atomes B à l'état gazeux. Elle s'exprime en  $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$  ou souvent en  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

#### Question 4

- Calculer les énergies de liaison  $D_{\text{H-H}}$ ,  $D_{\text{Cl-Cl}}$  et  $D_{\text{H-Cl}}$ , en  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  à partir des données microscopiques précédemment utilisées.
- Vérifier les valeurs à l'aide du simulateur en cliquant dans l'onglet « lore ».
- À l'aide de ces valeurs, calculer l'énergie mise en jeu lorsqu'une mole de dihydrogène réagit avec une mole de dichlore pour donner deux moles de chlorure d'hydrogène.
- La réaction est-elle endothermique ou exothermique ?
- Cette valeur est une valeur théorique de l'énergie de réaction.

#### Question 5

- Rappeler la définition d'un système isolé.
- On considère un système chimique isolé contenant à l'état initial  $\text{H}_2$  et  $\text{Cl}_2$ . On réalise au sein de ce système chimique isolé la réaction chimique exothermique entre  $\text{H}_2$  et  $\text{Cl}_2$ . Comment évoluent: la température de ce système? L'énergie de ce

système? L'énergie du milieu extérieur? La température du milieu extérieur?

- c. Simuler l'expérience; vérifier dans l'onglet « option » que le système est isolé (rubrique « Aspect macroscopique »). Les prévisions étaient-elles correctes?
- d. On considère à nouveau le système chimique de la question (b), mais cette fois, il n'est pas isolé. Il est alors en contact avec un environnement *de grande dimension*, c'est-à-dire un environnement dont la température ne varie pratiquement pas. Prévoir comment évoluent: la température de ce système? L'énergie de ce système? L'énergie du milieu extérieur? La température du milieu extérieur?

### Question 6

- a. Utiliser la valeur théorique de l'énergie de la réaction  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$  pour déterminer l'énergie qu'un système chimique constitué de 0,15 mol de  $\text{H}_2$  et autant de  $\text{Cl}_2$  échange au cours de cette réaction sous forme de chaleur avec le milieu extérieur.
- b. Vérifier avec le simulateur.
- c. Quelle serait l'énergie échangée s'il y avait eu à l'état initial 0,15 mol de  $\text{H}_2$  et 0,50 mol de  $\text{Cl}_2$ ?
- d. Vérifier avec le simulateur.



# **Jeux épistémiques et modélisation en classe ordinaire : les séismes au cours moyen**

**Epistemic games and modelling in ordinary  
classrooms: the study of earthquakes in primary  
school**

**Juegos epistémicos y modelización en una clase  
ordinaria: los séismos en cuarto y quinto de  
primaria en Francia**

**Epistemische Spiele und Modellisierung in einer  
gewöhnlichen Klasse : die Erdbeben in der  
Grundschule (4 Klasse)**

**Jérôme SANTINI**

Université de-Haute- Bretagne, université- Rennes 2  
Équipe CREAD (Centre de recherche sur l'éducation, les apprentissages et la  
didactique).

## **Résumé :**

*Nous présentons dans cet article une recherche empirique sur l'étude des séismes à l'école élémentaire. Les séismes sont, par essence, un objet d'étude qui exclut l'expérimentation comme moyen d'enseignement et d'apprentissage. Corrélativement, nous identifions dans les séances observées des activités de modélisation. Nous développons la notion*

*de jeu épistémique qui nous permet de produire une analyse didactique qui rend compte de la construction des éléments du modèle et de son évolution dans la classe. Puis, nous reprenons notre analyse en terme de milieu pour la modélisation dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences.*

**Mots-clés :** débat, jeu épistémique, milieu, modélisation, simulation.

### **Abstract:**

*We present in this paper an empirical research on the study of earthquakes in primary school. Earthquakes, by nature, can't be studied through experimentation. Correlatively, we identify modelling activities in classroom observations. We develop the notion of epistemic game to produce a didactical analysis accounting for the construction of elements of the model and its evolution through teaching. We then do a second analysis in terms of didactical milieu for modelling in teaching and learning sciences.*

**Keywords:** debate, epistemic game, milieu, model, simulation.

### **Resumen:**

*Presentamos en este artículo una investigación empírica sobre el estudio de los seísmos en la escuela primaria. Los seísmos son, por esencia, un objeto de estudio que excluye la experimentación como medio de enseñanza y de aprendizaje. Correlativamente identificamos en las sesiones observadas actividades de modelización. Desarrollamos la noción de juego epistémico que nos permite producir un análisis didáctico que da cuenta de la construcción de los elementos del modelo y de su evolución en la clase. Luego, retomamos nuestro análisis en término de ámbito para la modelización en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.*

**Palabras clave:** debate, juego epistémico, ámbito, modelización, simulación.

### **Zusammenfassung :**

*Wir legen in dieser Arbeit eine empirische Forschungsarbeit über die Art und Weise vor, wie man über Erdbeben in der Grundschule unterrichten kann. Erdbeben sind ihrem Wesen nach ein Thema, bei dem*

*Experimentierung als Lernmittel auszuschließen ist. Dementsprechend erkennen wir in den beobachteten Unterrichtssequenzen verschiedene Modellierungsaktivitäten. Wir entwickeln den Begriff des epistemischen Spieles, was uns ermöglicht, eine didaktische Analyse durchzuführen, die die Bildung der Modellbestandteile und seine Entwicklung in der Klasse berücksichtigen. Dann nehmen wir unsere Analyse wieder auf und betrachten sie als ein Medium zur Modellisierung fürs Unterrichten und Lernen der Wissenschaften.*

**Schlüsselwörter :** *Debatte, epistemisches Spiel, Medium, Modellisierung, Simulation*

## INTRODUCTION

Dans cet article, nous allons étudier une activité de modélisation au cours moyen de l'école primaire (4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> primaire) dans l'enseignement et l'apprentissage de la sismologie. Les séismes sont un objet d'étude qui n'est pas, par essence, directement accessible, même pour les spécialistes. Il n'est pas possible de mettre en œuvre un enseignement basé sur l'expérimentation. Cela constitue, on le verra, une difficulté pour les professeurs observés. Par contrainte, ceux-ci recourent alors, sans que cela soit totalement explicite, à des activités de modélisation<sup>1</sup>, dont des activités de simulation, en tant que représentation des phénomènes. Fort de ce constat, nous allons tâcher de décrire et d'analyser comment élèves et professeur concourent (ou non) dans leurs actions à la construction d'un modèle du séisme en classe. Par la suite, nous reprenons notre analyse en termes de milieu pour la modélisation.

# 1 UNE RECHERCHE SUR LA MODÉLISATION DES SÉISMES

## 1.1 Vue synoptique

Notre terrain de recherche se compose de deux classes de cycle 3 de l'école primaire, une classe de CM2 d'un professeur novice P<sub>1</sub> et une classe de CM1/CM2 d'un professeur expérimenté P<sub>2</sub>. La méthode employée

---

(1) Le terme « modèle » recouvre des acceptions différentes. Dans cet article, nous employons les termes de modèle et de modélisation au sens de modèle conceptuel. Lorsque ce n'est pas le cas, nous le précisons. Le terme de simulation est à référer à une autre acception de modèle : celle de modèle analogique. Pour une typologie des modèles, on pourra se référer à Desbiaux-Salviat & Rojat (2006).

est une méthode clinique/expérimentale (Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2002) de l'étude du didactique ordinaire. Notre corpus se compose de transcrits de films de séances de classe (deux séances par professeur), d'entretiens avec les professeurs (ante et post séances) ainsi que de pré-tests et post-tests d'élèves. Dans notre analyse du corpus, nous trouvons des signes de la construction de *modèles* dans l'activité des élèves dans les moments de débat scientifique et de simulation. Nous analysons les séances en termes de *jeux d'apprentissage* (cf. 2.2) et de *jeux épistémiques* (cf. 2.3). Dans cet article, nous présentons tout d'abord notre analyse de la modélisation des séismes, et de son évolution, dans les deux séances de P<sub>2</sub> (parties 4 et 5), puis des éléments d'une analyse comparative entre P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> (partie 6). Nous exposons dans les deux tableaux suivants une vue synoptique des séances de P<sub>1</sub> et de P<sub>2</sub> à laquelle nous nous référons par la suite.

Séance	Phase	Jeux d'apprentissage	Jeux épistémiques	% durée
Séance S <sub>11</sub>	Caractéristiques d'un séisme	Qu'est-ce qu'un séisme d'après vous ?		3 %
		Lecture du manuel		16 %
		Quels sont les caractères d'un séisme d'après les documents lus ?		14 %
		Trouver les caractéristiques d'un séisme relevées par P <sub>1</sub>		20 %
	Macro-séismes	Que donne la carte comme information ?		7 %
	Trace écrite	Pourquoi intensité et nombre de morts ne sont-ils pas liés ?	Expliquer l'indépendance des 2 données	7 %
		Copie de la trace écrite		33 %
Séance S <sub>12</sub>	À la surface de la Terre	Rappel de la séance S <sub>11</sub>		5 %
		Lecture du manuel		17 %
		Qu'est-ce que l'épicentre ?		12 %
	Sous la surface	Peut-on prévoir les séismes ?	Expliquer l'imprédictibilité des séismes	5 %
		Quelle est leur cause ?		23 %
	Trace écrite	Copie de la trace écrite		38 %

Tableau 1 • Analyse synoptique des deux séances de P1

Séance	Phase	Jeux d'apprentissage	Jeux épistémiques	% durée
Séance S <sub>21</sub>	Caractéristiques d'un séisme	Production d'affiches	Décrire un phénomène	33 %
		Débat scientifique	Critiquer les affiches	22 %
		Synthèse du débat		7 %
		Copie de la synthèse		27 %
	Mesure	Évaluer avec l'échelle MSK	Décrire l'intensité	11 %
Séance S <sub>22</sub>	de l'intensité d'un séisme	Rappel de S <sub>21</sub>		4 %
		Évaluer avec l'échelle MSK	Décrire l'intensité	7 %
		Débat scientifique	Critiquer les mesures	21 %
		Le sismographe		16 %
	Ondes sismiques	Courbes isoséistes	Expliquer des isoséistes	14 %
		Simulation	Prédire un événement	5 %
	Trace écrite	Copier et schématiser		15 %
	Au foyer	Production d'affiches		18 %

Tableau 2 • Analyse synoptique des deux séances de P2

Par la suite, nous présentons une analyse détaillée seulement des séances de P<sub>2</sub>. Il nous semble malgré tout utile de présenter les deux tableaux synoptiques pour permettre au lecteur la comparaison et pour ne pas lui faire croire que l'accent que nous allons mettre sur les jeux épistémiques est la règle. On peut déjà s'en persuader en comparant les pourcentages de la durée des jeux dans chaque séance. Il en est de même pour la pratique du « débat scientifique dans la classe » (Johsua & Dupin, 1989). Ainsi, nous avons intitulé les jeux d'apprentissage de P<sub>1</sub> sous forme de questions pour souligner la prépondérance du cours dialogué dans ses deux séances.

## 1.2 La sismologie au cycle des approfondissements

Le cycle 3 de l'école primaire marque le début du curriculum de géologie. Dans les documents officiels, l'étude des séismes fait partie des contenus de la partie « le ciel et la Terre » des sciences expérimentales sous le libellé « manifestations de l'activité de la Terre ».

Programmes (MEN, 2002a, p. 246-247)	Le ciel et la Terre L'objectif est en tout premier lieu d'observer méthodiquement les phénomènes les plus quotidiens et d'engager les élèves dans <i>une première démarche de construction d'un modèle scientifique</i> <sup>2</sup> : [...] manifestations de l'activité de la Terre (volcans, séismes).
Fiche connaissance n° 22 : Manifestations de l'activité de la Terre (MEN, 2002b, p. 41)	<i>Connaissances</i> Un séisme correspond au mouvement brusque d'une ancienne fracture de roches en profondeur ou à la formation d'une nouvelle faille. Des vibrations plus ou moins fortes peuvent être ressenties en surface. Ces manifestations peuvent être catastrophiques ou imperceptibles.
Documents d'application cycle 3 (MEN, 2002c, p. 27)	<i>Compétences spécifiques</i> Connaître les caractéristiques d'un séisme. Dans les régions à risque, être capable de mettre en œuvre les attitudes à adopter en cas de séisme. <i>Commentaires</i> Cette question peut être traitée en liaison avec l'actualité. Éviter de s'attacher au seul catastrophisme des photographies. Éviter de réduire l'étude des manifestations de la Terre à la connaissance de structures.
Socle commun (MEN, 2006, p. 8-10)	À l'issue de la scolarité obligatoire, tout élève doit avoir une représentation cohérente du monde reposant sur des connaissances. Chacun doit donc [...] savoir que la planète Terre [...] présente une structure et des phénomènes dynamiques internes et externes.

Tableau 3 • la sismologie dans les documents officiels

Les documents d'application des programmes précisent aussi la démarche attendue pour l'enseignement des sciences à l'école primaire. Démarche que l'on peut trouver résumée dans le sous-titre « du questionnement à la connaissance en passant par une investigation expérimentale » (MEN., 2002c, p. 6), avec une « expérimentation directe, à privilégier à chaque fois qu'elle est possible » (*Ibid.*). Cette expérimentation directe est impossible dans l'étude des séismes – elle ne l'est d'ailleurs pas moins pour le géologue que pour l'élève. L'étude des séismes est l'occasion d'« une première démarche de construction d'un modèle scientifique » (cf. tableau 3). La démarche attendue par l'institution dans ce début de curriculum de géologie est une modélisation du phénomène sismique par l'investigation.

Notre analyse de la transposition didactique (Chevallard, 1991) de la sismologie au cycle 3 nous conduit à identifier cinq savoirs géologiques en jeu et les notions scientifiques correspondantes.

Savoir géologique	Notion scientifique
Un séisme se manifeste par des secousses plus ou moins violentes du sol	notion d'intensité

(2) Souligné par nous.

Savoir géologique	Notion scientifique
Il existe des séismes perçus seulement par les instruments	notions d'instruments de mesure de l'intensité et de microséismes
La propagation en surface du séisme est concentrique	notion d'épicentre et d'isoséistes
L'origine d'un séisme est profonde	notion de foyer (ou hypocentre)
L'origine d'un séisme est mécanique	notions de rupture au foyer, de résistance des matériaux, de contraintes/déformations

Tableau 4 • savoirs géologiques et notions scientifiques en jeu

Ces savoirs seront repris dans la suite du curriculum au collège en classe de 4<sup>e</sup> (MEN, 2005, p. 31-33) où l'investigation entreprise au cycle 3 est poursuivie afin de « relier les manifestations d'un séisme à des phénomènes qui se déroulent en profondeur » (*Ibid.*, p. 31).

### 1.3 Modélisation

Nous présentons ici les grandes lignes d'une épistémologie de la modélisation (Sensevy & Santini, 2006) à laquelle s'adosse par la suite notre analyse didactique.

Pour définir ce qu'est un modèle, commençons par une acception du terme telle que la donne *Le Nouveau Littré* (C. Blum, 2005) comme « représentation formalisant les différentes relations entre les éléments d'un système, d'un processus, d'une structure ». Nous spécifions cette définition en considérant avec Hacking que « sont aussi des représentations certains événements qui n'impliquent pourtant que le verbe » (Hacking, 1989, p. 221-222) et que « toutes [les représentations] sont publiques » (*Ibid.*). Gagner un caractère public aux représentations nous éloigne du mentalisme qui leur est souvent associée (Sensevy, 2002) et nous rend sensible à l'arrière-fond, matériel et sémiotique, qui les sous-tend. Cartwright (1999) fait de ce contexte un élément constitutif du modèle en montrant qu'un modèle ne s'applique que localement là où ses *conditions de clôture* (shielding conditions) s'appliquent elles aussi. La notion de « collectif de pensée » (Fleck, 1934 et 2005) rend compte de « la perception visuelle de forme [...] reproductible et conforme à un style [de pensée] » (Fleck, 2005, p. 164) nécessaire pour s'accorder avec l'Autre sur un arrière-fond sémiotique du modèle comme référence commune. Nous désignons cette solidarité entre un modèle et son arrière-fond par *holisme* du modèle.

Cartwright développe une analogie entre fable et modèle pour expliquer les relations abstrait/concret qu'actualise un modèle : « Les fables transforment l'abstrait en du concret, en faisant cela, je prétends

qu'elles fonctionnent comme des modèles en physique. [...] La morale générale est une affirmation purement symbolique ; la fable lui donne un contenu spécifique afin que nous puissions établir avec clarté la relation qu'il est supposé être entre les idées<sup>3</sup> » (Cartwright, 1999, p. 37-38). De même que la fable avec la morale, le modèle donne un contenu à la théorie qui permet de comprendre des concepts abstraits dans leurs descriptions plus concrètes dans une opération de *réduction du général au particulier*. Inversement, on utilise ces descriptions concrètes pour *aménager* la théorie à une situation donnée.

En même temps qu'elle développe l'analogie entre la fable et le modèle, Cartwright en souligne les différences. Différences que l'on pourrait résumer ainsi : a) les concepts scientifiques ne sont pas les stéréotypes bien connus de tous que sont les personnages des fables, ils doivent être longuement étudiés et spécifiés avant de pouvoir fonctionner comme tels, et b) la mathématisation du modèle permet une adhésion fine de celui-ci au réel. La mathématisation au sens où Hacking définit le calcul : « par *calcul*, je n'entends pas un simple alignement de chiffres, mais l'altération mathématique d'une hypothèse donnée qui se trouve ainsi en résonance plus intime avec le monde » (Hacking, 1983 et 1989, p. 345). C'est le rôle que peut jouer, dans les séances étudiées, le sismogramme qui, s'il n'est pas le support d'un raisonnement quantitatif *stricto sensu*, peut être le substrat d'un raisonnement « pré-quantitatif » (Johsua & Dupin, 1989, p. 95) qui porte sur les ordres de grandeur et l'évolution dans le temps de l'amplitude des secousses enregistrées graphiquement.

## 2 OUTILS DE DESCRIPTION GÉNÉRIQUE DE LA RELATION DIDACTIQUE

### 2.1 Des catégories de description de l'action conjointe professeur-élèves

Nous considérons les actions conjointes produites dans le système didactique par le professeur et les élèves comme des *transactions didactiques* (Sensevy, 2007). Par l'usage du terme transaction, Sensevy insiste en particulier sur le fait que les interactions professeurs-élèves sont organiquement coopératives et gagnent presque toujours à être pensées solidairement. Nous serons donc incités à nous demander, en face de toute action de professeur : à quelle(s) action(s) d'élève(s) réfère-t-elle ?

---

(3) Traduit par nous.

Et toute action d'élève sera soumise à la même question réciproque : à quelle(s) action(s) du professeur réfère-t-elle ?

Pour outiller l'étude des transactions didactiques, dans la dialectique contrat-milieu, nous disposerons de quelques topiques, dont nous décrivons certaines ci-dessous.

### ***Chronogénèse, mésogénèse, topogénèse***

Ces trois catégories solidaires (Chevallard, 1991 ; Sensevy, Mercier, Schubauer-Leoni, 2000) constituent des descripteurs du système didactique.

La chronogénèse décrit l'avancée du savoir dans la classe, donc le fonctionnement du temps didactique.

La mésogénèse décrit la construction du milieu, de la référence dans la classe.

La topogénèse décrit la part prise respectivement par le professeur et les élèves dans l'activité didactique. Nous allons préciser cela dans le paragraphe qui suit.

### ***Topogénèse et partition épistémique***

Décrire des transactions didactiques, cela signifie, nous l'avons dit, décrire une action conjointe. Mais dire que l'action est conjointe ne signifie pas pour autant assurer que chacun des transactants assume des responsabilités identiques par rapport au savoir. Il nous semble donc particulièrement important de caractériser la *partition épistémique* présente dans une topogénèse donnée. Nous tenterons donc de répondre à certains moments à une question du genre : quelle est la part prise par le professeur, quelle est la part prise par les élèves dans la production du savoir dans la classe ?

## **2.2 Dialectique contrat-milieu, jeu didactique et jeux d'apprentissage**

Nous considérons de manière classique le contrat didactique comme un système d'attentes réciproques entre le professeur et les élèves à propos du savoir. Nous considérons le *milieu* comme le système de possibles et de nécessaires qui constitue l'environnement à la fois matériel et symbolique de l'action didactique (Brousseau, 1998 ; Sensevy *et al.*, 2000, 2005).

On peut décrire la relation didactique dans une dialectique entre le contrat et le milieu : pour agir dans la classe, l'élève peut évoluer « sans milieu » en se fiant uniquement à ce qu'il peut déchiffrer des attentes et des intentions du professeur. À l'opposé, il peut agir sans tenir aucunement compte du professeur, uniquement en interaction avec le milieu, dénué, lui, de toute intention (didactique). Dans la plupart des cas, la relation didactique peut se décrire comme un mixte : l'élève agit pour une part dans une perception plus ou moins incertaine des intentions du professeur, et pour une part guidé par les interactions qu'il entretient avec le milieu.

L'une des dimensions fondamentales de l'action professorale réside dans la régulation de ce partage : le professeur peut ainsi dévoiler plus ou moins clairement ses intentions didactiques, de manière à ce que l'élève avance « par contrat ». Il peut aussi espérer que l'élève progressera grâce aux relations établies avec un milieu plus ou moins adéquatement pensé. Ce partage contrat/milieu nous semble constituer une dimension essentielle de la caractérisation de l'action conjointe professeur/élèves.

Dans notre modélisation de l'action par le jeu, penser conjointement le jeu du professeur et le jeu de l'élève, c'est considérer comme gagnant le professeur à son jeu avec le jeu de l'élève si cet élève produit *proprio motu* les stratégies gagnantes dans son jeu d'élève. Professeur et élève(s) sont alors engagés dans un *jeu didactique* (Sensevy, 2007), intrinsèquement *coopératif*, où le premier accompagne le deuxième dans son jeu et gagne dans la mesure où le deuxième gagne raisonnablement de son propre fait. Dans le flux du jeu didactique, un observateur peut reconnaître une « succession de moments à la fois connexes et clos sur eux-mêmes » (*Ibid.*, p. 26) que l'on peut caractériser, tour à tour, par un nouvel enjeu de savoir. Ces moments sont des jeux, au sens précédent de jeu didactique, produits par « la nécessité d'avancer dans l'apprentissage » (*Ibid.*) : ce sont des *jeux d'apprentissage* (*Ibid.*).

## 2.3 Jeux épistémiques

Collins & Ferguson (1993) décrivent l'activité d'investigation des sciences en termes de jeux épistémiques (*epistemic games*) qui ont pour cibles des configurations épistémiques (*epistemic forms*) dont les modèles scientifiques. Ces deux auteurs se réfèrent à la notion de jeu pour rendre compte de l'investigation scientifique parce qu'« ils [les jeux épistémiques] ne sont pas simplement des stratégies ou des méthodes d'investigation, ils impliquent plutôt un complexe de règles, de stratégies et de coups associé avec des représentations particulières (c'est-à-

dire les configurations épistémiques)<sup>4</sup> » (1993, p. 26). On voit bien ici comment la notion de jeu permet d'éviter l'algorithmisation<sup>5</sup> inhérente à la notion de méthode relativement éloignée de l'activité scientifique. Collins & Ferguson qualifient ces jeux d'épistémiques « dans ce qu'ils impliquent la construction d'un nouveau savoir » (*Ibid.*, p. 26). Construction que l'on retrouve au cœur de la notion de jeu d'apprentissage et qui permet d'entrevoir des rapprochements entre jeu d'apprentissage et jeu épistémique. Rapprochements mais pas recouvrement car « on ne peut faire abstraction du fait que le chercheur qui élabore un savoir nouveau [jeu épistémique<sup>6</sup>], lequel par définition n'existe pas encore, se trouve dans une situation fondamentalement différente de l'élève qui doit s'approprier un savoir [jeu d'apprentissage] dont toute l'institution (et l'élève lui-même) sait qu'il est déjà présent sous une certaine forme ailleurs » (Johsua & Dupin, 1999, p. 136). Fort de cette différence, nous considérons que certains jeux d'apprentissage peuvent être comparés, pour mieux les comprendre, à certains des jeux épistémiques spécifiques de l'activité scientifique, tout en leur conservant les contraintes génériques du jeu didactique. Dans la suite de cet article, c'est dans cette optique que nous utilisons la notion de jeu épistémique.

S'inspirant de Collins & Ferguson (1993), Ohlsson (1996) développe la notion de tâche épistémique (*epistemic task*) comme prémices d'une théorie des apprentissages des savoirs déclaratifs (*declarative knowledge*), dont les concepts scientifiques. Ohlsson construit ainsi « un essai de taxonomie d'activités épistémiquement pertinentes [qui] est court mais étonnamment complet<sup>7</sup> » sous la forme de catégories de tâches épistémiques : décrire, expliquer, prédire, argumenter, critiquer, expliciter et définir (1996, p. 51). Ohlsson considère que lors d'une tâche épistémique « la compréhension semble particulièrement exercée et engagée » (*Ibid.* p. 52). C'est en ce sens que Tiberghien, Buty et Le Maréchal (2005a) convoquent la notion de tâches épistémiques dans leur cadre théorique. Ils l'expliquent ainsi : « Du point de vue de l'apprentissage, nous considérons que construire une compréhension d'un concept ou d'une notion nécessite d'établir

---

(4) Traduit par nous, ainsi que le reste des citations de Collins & Ferguson (1993).

(5) Algorithmisation que l'on retrouve à l'école sous la forme d'une démarche scientifique cristallisée dans le moyen mnémotechnique Oheric (observation, hypothèse, expérience, résultat, interprétation, conclusion) alors que l'on sait que l'activité scientifique est faite d'aller-retour et d'articulation entre l'empirie et la théorie, sans respecter un ordonnancement de tâches.

(6) Nous rajoutons les deux expressions entre crochets [jeu épistémique] et [jeu d'apprentissage] dans la citation elle-même, bien que ce ne soit pas le propos de ses auteurs, afin de mieux faire comprendre ce qui nous semble être une différence majeure entre les deux notions.

(7) Traduit par nous, ainsi que le reste des citations d'Ohlsson (1996).

de nouvelles relations entre des éléments de savoir. [...] Des relations entre éléments de savoir peuvent être construites par différents types de raisonnement. Pour les caractériser nous nous référons aux tâches épistémiques (Ohlsson, 1996)<sup>8</sup> » (2005a, p. 31). Tiberghien *et al.* (2005a ; 2005b) identifient ainsi dans la compréhension des concepts scientifiques une difficulté majeure dans les relations que doit construire l'élève entre les théories/modèles du concept et les objets/événements correspondants. On perçoit ici comment une telle analyse entre en consonance avec le genre d'épistémologie qui sous-tend notre description de la modélisation (cf. 1.3) : il s'agit bien de travailler à *aménager* la théorie, à la concrétiser et à la particulariser en reconnaissant des objets et événements, et des relations avec, et entre, ces objets ou événements. Si l'on conçoit le contexte dans lequel s'opèrent l'enseignement et l'apprentissage comme un milieu (cf. 2.2), on peut considérer qu'un enjeu essentiel des transactions professeur-élèves réside dans la mise en relation objets/événements et théories/modèles au sein de jeux épistémiques. Tiberghien *et al.* reprennent la taxonomie de tâches épistémiques d'Ohlsson, l'étendent et en précisent les modalités sous la forme de huit catégories : décrire, interpréter (étendu des seuls événements aux éléments théoriques), prédire, définir, expliquer, questionner (ajouté), argumenter, critiquer (*Ibid.*, p. 40-41). Nous reprenons cette taxonomie pour caractériser les jeux épistémiques que nous analysons dans les parties 4 et suivantes de cet article.

Par ailleurs, l'approche de l'investigation scientifique développée par Collins & Ferguson nous intéresse particulièrement par les liens organiques qu'elle tisse entre les deux notions au centre de nos préoccupations : la modélisation et le jeu. Ces liens sont d'autant plus serrés que Collins & Ferguson présentent le modèle-enjeu de savoir comme l'état du jeu épistémique une fois l'investigation menée à bien : « la différence entre les configurations (*forms*) et les jeux est semblable à la différence entre les cases qui sont remplies dans le jeu de morpion et le jeu lui-même » (*Ibid.*, p. 25). Dans cette perspective, nous représentons l'avancée de la modélisation dans la classe par les relations construites entre les éléments de théorie/modèle et d'objets/événements à deux moments différents (cf. figure 2 et figure 4). Ces deux figures sont construites dans la veine de Tiberghien *et al.*, en particulier des figures 4 et 5 de Tiberghien & Vince (2005b).

Au terme de notre cadrage didactique théorique, nous sommes clairement ancrés dans le cadre de *la théorie de l'action didactique conjointe* (Sensevy & Mercier, 2007 ; Sensevy, 2007 ; Tiberghien *et al.*, 2007). C'est ce que cadre que nous mobilisons dans les différentes analyses de notre corpus. Comme de rigueur, en préalable à ces analyses, nous faisons une

---

(8) Traduit par nous.

analyse *a priori* (Mercier & Salin, 1988) des savoirs en jeu dans les séances de classe étudiées.

### 3 ÉLÉMENTS D'ANALYSE ÉPISTÉMIQUE

Nous envisageons notre analyse *a priori* en termes de jeux épistémiques. Dans cette perspective, nous considérons les cinq savoirs à enseigner (cf. tableau 4) comme concourant à construire un modèle du séisme et nous considérons les objets ou événements à mettre en regard de chacun de ces savoirs ainsi que les relations à établir entre ces objets ou événements avec les éléments du modèle .

- 1- Un séisme se manifeste par des secousses plus ou moins violentes du sol

L'échelle MSK et l'échelle de Richter sont deux objets correspondant à ce savoir. Des événements tels que des séismes de forte magnitude causant peu de dégâts et, à l'inverse, des séismes de faible magnitude causant d'importants dégâts permettent de mettre en perspective ces deux échelles. La relation à établir ici est que les dégâts causés par un séisme ne sont pas exclusivement fonction de sa magnitude mais également fonction d'un contexte local, c'est-à-dire des caractéristiques géologiques du lieu où il se produit mais aussi des caractéristiques des constructions atteintes par le séisme.

- 2- Il existe des séismes perçus seulement par les instruments

Deux objets : le sismographe et le sismogramme, et une relation : le second est produit par le fonctionnement du premier. Il y a une relation au sein du sismographe entre le déplacement mécanique du stylet sur la feuille de papier et les déplacements du sol. Le sismographe est le lieu où se crée un lien entre le sol qui vibre (le bâti de l'appareil est solidaire du sol) et un référent qui ne vibre pas par son inertie (le stylet). Le principe de fonctionnement du sismographe permet de comprendre que le tracé du sismographe est une représentation de l'activité de la Terre.

- 3- La propagation en surface du séisme est concentrique

Les cartes d'isoséistes établies à partir des dégâts observés ont ici le statut d'objets. La relation à établir est que les isoséistes se présentant sous forme de lignes courbes fermées (idéalement des cercles si le milieu était isotrope) emboîtées localisent l'événement d'origine (l'arrivée du séisme) au centre de ces lignes.

#### 4- L'origine d'un séisme est profonde

L'objet est ici une représentation en coupe de la Terre où figurent les positions du foyer et de l'épicentre. La relation entre ces deux positions est une propagation du séisme, ou plus exactement des ondes sismiques, du foyer à l'épicentre.

#### 5- L'origine d'un séisme est mécanique

Une représentation en coupe de la Terre où figurent un plan de faille et de part et d'autre des contraintes de sens opposé (sous forme de flèches par exemple) constitue ici un objet. La relation entre cet objet et le modèle du séisme est qu'un relâchement brutal de ces contraintes va provoquer un glissement, lui aussi brutal, des compartiments rocheux de part et d'autre du plan de faille qui est à l'origine du séisme. Nous n'envisageons pas ici le cas moins fréquent d'une faille néoformée.

Cet ensemble théorie/modèle, objets/événements et relations entre les deux concerne les savoirs géologiques à enseigner. Si l'on examine ce qui est déjà connu des élèves, nous constatons qu'au sens strict rien n'a été précédemment appris sur les séismes puisqu'il s'agit là d'un premier enseignement dans le cursus scolaire. En revanche, les élèves ont déjà des connaissances sur les séismes (Allain, 1995 ; Deunff, 1995), notamment relatives aux représentations sociales véhiculées par les médias. Elles concernent généralement les macroséismes médiatisés sous leur aspect de catastrophe naturelle destructrice. Dans notre ensemble théorie/modèle, objets/événements et relation théorie/modèle-objets/événements, les articles, les photographies ou bien encore les reportages sur les destructions sont des objets. Dans le modèle médiatisé, le macroséisme est une manifestation de l'activité de la Terre. La relation entre l'objet et le modèle est que le macroséisme est la cause des dégâts.

Nous reprenons notre analyse *a priori* sous la forme d'une « grille » (Buty, Tiberghien et Le Maréchal, 2004) dans le tableau 5.

	Déjà appris	Déjà connu du quotidien	À enseigner (sismologie)
Théorie/modèle	Dans un sens scolaire strict, rien n'a été appris sur les séismes puisqu'il s'agit au cours moyen du début du curriculum de géologie.	Un macroséisme est une manifestation de l'activité de la Terre.	Un séisme se manifeste par des secousses plus ou moins violentes du sol. Il existe des séismes perçus seulement par les instruments. La propagation en surface du séisme est concentrique. L'origine d'un séisme est profonde. L'origine d'un séisme est mécanique.
Relation entre théorie/modèle et objet/événement.		Le macroséisme est la cause des dégâts.	Les dégâts d'un séisme sont fonction du contexte local. Un sismographe est solidaire des mouvements de la Terre. Plus on s'éloigne de l'épicentre, plus l'intensité du séisme diminue. Le séisme se propage du foyer à l'épicentre. Une masse rocheuse soumise à de fortes contraintes se faille.
Objet/événement		Macroséismes sous leur aspect de catastrophe naturelle destructrice (articles, photographies, reportages, etc.).	Échelle MSK, échelle de Richter. Séismes de forte magnitude causant peu de dégâts et vice-versa. Sismographes et sismogrammes. Cartes d'isoséistes. Représentations en coupe de la Terre avec position du foyer et de l'épicentre. Représentations en coupe de la Terre figurant les contraintes au foyer et le plan de faille.

Tableau 5 • **Analyse a priori de la sismologie au Cours Moyen (4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> primaire)**

## 4 ANALYSE DU DÉBAT SCIENTIFIQUE DANS LA CLASSE

Dans les séances de classes observées, nous identifions dans la pratique de  $P_2$  deux moments de débat scientifique dans la classe (cf. tableau 2) tel que le définissent Joshua et Dupin (1989). Le premier porte sur les *caractéristiques d'un séisme* à partir d'affiches produites par les élèves et correspond dans notre corpus aux tours de parole 156 à 345 de  $S_{21}$ . Le deuxième a pour enjeu la *mesure de l'intensité d'un séisme* à partir d'une échelle MSK partielle et correspond aux tours de parole 84 à 469 de  $S_{22}$ . Lors de ce débat, élèves et professeur se réfèrent à un objet inaugural de la séance : une sélection de cinq extraits d'articles de journaux relatant cinq macroséismes. Dans ce qui suit, nous allons tout d'abord analyser des extraits de débat puis montrer le fonctionnement de jeux épistémiques dans le débat proprement dit.

## 4.1 Éléments de savoir et relations construites dans le débat

Au début de la première séance, P<sub>2</sub> distribue aux élèves une sélection d’articles de journaux relatifs à cinq macroséismes (Iran, 1990 ; Mexico, 1985 ; San Francisco, 1989 ; Haute-Savoie, 1996 ; Kobe, 1995). Il leur demande de les lire silencieusement puis de compléter une affiche de format A3 (cf. figure 2) par groupe de quatre. Le professeur s’arrête voir le travail des différents groupes, échange avec les élèves, rappelle les consignes ou donne des précisions.

Les caractéristiques d'un séisme	
manifestation :	
durée :	
effets/dégâts :	

Figure 1 • affiche à compléter lors de la 1<sup>re</sup> phase de S<sub>21</sub>

Une fois les affiches disposées sur le tableau, P<sub>2</sub> demande aux élèves de s’asseoir de manière à pouvoir les lire et leur laisse un bref moment à cet effet. P<sub>2</sub> demande ensuite *est-ce que vous avez des choses à dire par rapport à la comparaison des différents panneaux* (S<sub>21</sub>-173P<sub>2</sub><sup>9</sup>). Notre premier extrait débute par une reformulation par P<sub>2</sub> de cette question.

193	P <sub>2</sub>	Est-ce qu'il y a des choses alors on va dire autrement est-ce qu'il y a des choses qu'on retrouve dans tous les panneaux
194	E	Oui
195	P <sub>2</sub>	Comme ça ce qui est pareil on va chercher ce qui est pareil JE
196	JE	Qu'il y a des blessés et des morts
197	P <sub>2</sub>	Bon qu'il peut y a voir des blessés ou des morts ALE
198	ALE	Que la terre elle tremble
199	P <sub>2</sub>	Que la terre tremble
200	BA	Déjà que c'est moins des minutes
201	P <sub>2</sub>	C'est
202	BA	Moins des minutes par exemple moins cinq ou moins dix mais on est tous d'accord que c'est moins et qu'on retrouve aussi quinze secondes

Lors de ces quelques tours de parole, sur la base des affiches des groupes à partir des articles de journaux, les élèves JE, ALE et BA énoncent

(9) S<sub>21</sub>-173P<sub>2</sub> renvoie à la première séance de P<sub>2</sub>, tour de parole n° 173, le locuteur étant le professeur P<sub>2</sub>.

les premiers termes du débat : « il y a des blessés et des morts » (196JE), « la terre elle tremble » (198ALE) et « c'est moins des minutes » (200BA). Remarquons que ces énoncés répondent chacun à une des catégories introduites par  $P_2$  via l'objet affiche : effets/dégâts pour JE, manifestation pour ALE et durée pour BA. Si l'essence du phénomène sismique (198ALE) et sa brièveté (200BA) sont peu débattus, la question des dégâts (196JE) qu'est capable de causer un tremblement de terre va occuper plus de la moitié du temps et plus de la moitié des tours de parole consacrés au débat par  $P_2$ . Les deux extraits suivants en sont l'exemple.

278	PL	Un blessé parce qu'il y a eu des éclats de verre
279	$P_2$	Bon donc un blessé + léger un blessé léger donc est-ce qu'on a toujours des victimes et beaucoup de victimes
280	E	Non
281	$P_2$	Non donc ça dépend
282	PL	Il y a toujours des blessés parce que c'est rare qu'il n'y a pas de blessés quand même légers
283	$P_2$	Dans ce que tu as là peut-être pas que dans ce que tu as lu là tu ne peux pas généraliser
284	AN	Ça arrive dans le désert il n'y a personne alors
285	$P_2$	Ah
286	E	Oui mais il n'y en a jamais
287	E	Il peut y en avoir
288	E	Et il y a beaucoup de
289	E	Si ça se peut
290	$P_2$	Tu as entendu ce qu'il
291	E	Tous les jours il y en a
292	E	En France
293	$P_2$	Donc il a dit ça dépend s'il y a du monde ou pas effectivement s'il n'y a personne

La sélection de séismes de  $P_2$  comporte un article « La Haute-Savoie secouée » où sont relatés peu de dégâts. PL y relève « un blessé parce qu'il y a eu des éclats de verre » (278PL).  $P_2$  valide l'énoncé de PL en le reprenant en partie, puis il modalise par l'emploi des adverbes « toujours » et « beaucoup » sa question à la classe « est-ce qu'on a toujours des victimes et beaucoup de victimes » (279 $P_2$ ), montrant ainsi qu'il a pris en compte le point de vue de PL. Malgré tout, PL ne renonce pas « il y a toujours des blessés » (282PL).  $P_2$  souligne la non-exhaustivité de sa sélection d'articles « dans ce que tu as là peut-être » (283 $P_2$ ). AN transgresse alors une des règles du débat, qui était jusqu'alors de se référer exclusivement aux articles de la classe, en énonçant la possibilité d'un séisme dans une région inhabitée « ça arrive dans le désert il n'y a personne alors » (284AN).  $P_2$  souligne l'intérêt de cet énoncé par une

interjection (285). Un élève conteste cette possibilité (286E), un autre soutient au contraire la déclaration d'AN (287E), un troisième rajoute que le phénomène est fréquent (291E). Après une première tentative avortée (290P<sub>2</sub>), P<sub>2</sub> reprend alors la main pour procéder avec l'adverbe « effectivement » à une micro-institutionnalisation « donc il a dit ça dépend s'il y a du monde ou pas effectivement s'il n'y a personne » (293P<sub>2</sub>). Remarquons ici comment P<sub>2</sub> laisse la responsabilité de l'énoncé à AN « il a dit » tout en donnant son avis « effectivement ». Cette orchestration de deux points de vue dans le même énoncé permet à P<sub>2</sub> de faire avancer le temps didactique tout en veillant à conserver une position basse dans la partition épistémique pour la poursuite du débat. Comme nous l'avions signalé plus haut, le débat continue sur la question des dégâts qu'est susceptible de causer un séisme.

320	VI	Au troisième je ne suis pas d'accord parce que provoquer des incendies c'est juste la terre qui tremble ça ne provoque pas des incendies
321	PL	Non ils le disent à un moment
322	E	Il n'y a pas de flammes
323	E	Si
324	E	Si ils le disent
325	PL	Au moins 158 incendies dus aux ruptures des canalisations
326	P <sub>2</sub>	Oui alors regarde c'est à cause du mot effet ça c'est le dégât tu as raison il y a des trucs qui se cassent et tout ça les effets c'est ce qui se passe il y a un groupe qui m'a dit les effets qui est-ce qui m'a dit ça

VI exprime son désaccord avec l'affiche d'un groupe « au troisième je ne suis pas d'accord » (320VI). VI conteste la liaison directe, faite par ce groupe en l'inscrivant dans la rubrique effets/dégâts de leur affiche, entre le séisme et les incendies relatés dans l'article en revenant sur une définition stricte du phénomène « c'est juste la terre qui tremble ça ne provoque pas des incendies » (320VI). PL récusé l'argument en citant l'article en question (321PL et 325PL). P<sub>2</sub> valide l'énoncé de PL « oui » (326P<sub>2</sub>) puis introduit une différence entre la notion d'effet du séisme et de dégât du séisme « c'est à cause du mot effet ça c'est le dégât ». Les incendies sont un dégât indirect du séisme « il y a des trucs qui se cassent et tout ça » et pas un effet propre au phénomène « les effets c'est ce qui se passe il y a un groupe qui m'a dit les effets ». Comme dans l'extrait précédent, nous voyons ici comment P<sub>2</sub> donne son avis sans s'exprimer à la première personne et en orchestrant deux points de vue présents dans la classe : « tu as raison il y a des trucs qui se cassent avec il y a un groupe qui m'a dit les effets ». Malgré tout, ces deux points de vue n'ont pas une valeur équivalente et P<sub>2</sub> donne un avantage aux tenants du deuxième en leur redonnant la main « qui est-ce qui m'a dit ça » (326P<sub>2</sub>). Au terme de cet extrait, P<sub>2</sub> a validé les tours de parole de VI et PL mais pour des raisons

différentes : ceux de PL (321PL et 325PL) parce qu'ils respectent les règles définitives du débat en cours par une référence stricte aux articles et celui de VI (320VI) car il fait avancer le temps didactique en précisant la nature indirecte de la liaison entre les incendies et le séisme.

Au début de la séance  $S_{22}$ ,  $P_2$  demande aux élèves de poursuivre un travail de mesure de l'intensité des séismes de la sélection d'articles de journaux, travail entamé à la fin de la séance  $S_{21}$ . Pour ce faire,  $P_2$  a distribué aux élèves une feuille comportant une échelle MSK partielle (degrés 1, 2, 5, 8, 9 et 12) et un tableau à remplir. Par groupe de quatre, les élèves doivent attribuer un degré sur cette échelle à chacun des séismes et indiquer quels indices dans les articles ont guidé leurs décisions. S'ensuit alors une phase de débat sur le degré à accorder à chacun des différents séismes. Dans l'extrait suivant, le débat porte sur le séisme de Mexico.

167	JE	Douze
168	LA	Non trop violent
<i>Plusieurs E parlent en même temps.</i>		
169	$P_2$	Ah stop stop LA il te dit c'est trop violent
170	E	Beaucoup trop
171	$P_2$	Pourquoi c'est trop violent
172	BA	Ben euh déjà bouleversement total ça ils ne le disent pas déjà
173	$P_2$	Mmm
174	BA	Ils disent drame peut-être mais pour moi bouleversement total ce n'est pas un drame
175	$P_2$	Ah
176	BA	Je trouve que c'est trop parce que la surface du sol toutes les constructions humaines sont détruites une nouvelle morphologie du terrain apparaît je trouve que ce n'est pas très bien j'aurai mis huit
177	E	Oui
178	TH	Non non
179	$P_2$	TH dit non c'est intéressant d'argumenter là-dessus
180	TH	Nous on a mis dix parce qu'il y a il y a quatre cent vingt immeubles écroulés huit hôpitaux cent trente sept écoles et trois mille immeubles endommagés
181	BA	Ben oui mais le huit écroulement écroulement des constructions traditionnelles beaucoup de dégâts
182	TH	Ben voilà mais école ce n'est pas une construction traditionnelle

JE attribue le degré maximum de l'échelle MSK au séisme de Mexico (167JE). LA conteste cette mesure qui correspondrait à un séisme plus violent que celui étudié « non trop violent » (168LA).  $P_2$  signale cet énoncé par une interjection « Ah » (169 $P_2$ ), demande à ceux qui parlent en même temps de s'arrêter « stop stop » et répète l'énoncé de LA mais sans le prendre à son compte en précisant à la fois l'énonciateur LA et

le destinataire *te* de cet énoncé « LA il te dit c'est trop violent » (169P<sub>2</sub>). Un élève approuve (170E). P<sub>2</sub> demande une justification (171P<sub>2</sub>). BA se réfère à une partie de la description du degré douze de l'échelle MSK « bouleversement total » (172BA) et le signale comme absent de l'article relatant le séisme « ça ils ne le disent pas déjà ». Il nuance par rapport au terme employé dans l'article *drame* (174BA) puis poursuit avec la description du degré douze « la surface du sol toutes les constructions humaines sont détruites une nouvelle morphologie du terrain apparaît » (176BA). Les dégâts décrits dans ce degré sont pour BA exagérés par rapport à ceux partiellement décrits dans l'article « ce n'est pas très bien » et il préfère pour en rendre compte choisir « un degré inférieur j'aurai mis huit ». BA établit une liaison entre les dégâts observés et la violence du séisme grâce à l'objet échelle MSK.

TH n'est pas d'accord avec BA (178TH). P<sub>2</sub> le signale tout en laissant la responsabilité du désaccord à l'élève « TH dit non » (179P<sub>2</sub>) et encourage la poursuite du débat « c'est intéressant d'argumenter là-dessus ». TH explique pourquoi, avec son groupe, il a évalué à un degré dix ce séisme par une référence directe au texte de l'article (180TH). BA répond que le degré huit suffit à rendre compte des dégâts lus par TH en citant sur l'échelle MSK *écroulement des constructions traditionnelles beaucoup de dégâts* (181BA). TH conteste que les écoles puissent être comptabilisées comme des constructions traditionnelles comme le fait BA « école ce n'est pas une construction traditionnelle » (182TH). TH établit ici une liaison entre les dégâts observés et la qualité des constructions à la différence de BA qui établit une liaison entre les dégâts observés et la violence du séisme. Quelques tours de parole plus loin, P<sub>2</sub> confirme que les écoles sont construites « en béton » (190P<sub>2</sub>). La qualité des constructions devient par la suite un argument qui sera repris, en plus de la violence du séisme, pour les séismes de San Francisco et de Kobé.

En conclusion de ces analyses d'extraits, comme nous l'avions signalé plus haut, nous représentons, dans une visée synoptique et dans la veine de Tiberghien *et al.* (2005a, 2005b), les liaisons entre éléments du savoir construites lors du débat dans la figure suivante.

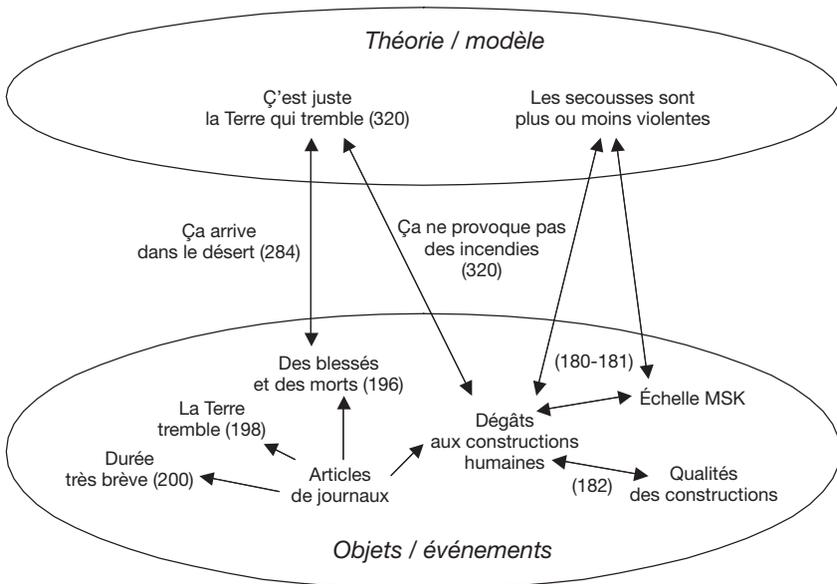


Figure 2 • Relations établies lors du débat (les numéros entre parenthèses renvoient à des tours de parole dans les extraits analysés)

Avant enseignement, les élèves ont une conception des séismes que nous qualifions de *macrosismique* dans le sens où le séisme y est littéralement un tremblement de terre : l'observateur sent la terre trembler et voit les dégâts des secousses. Dans cette conception macrosismique, l'avancée de la modélisation à l'issue du débat scientifique permet d'envisager comme séisme des événements géodynamiques qui ne sont pas obligatoirement destructeurs, selon la contextualisation du phénomène. Par la suite, le modèle évolue pour que soit pris en compte les microséismes.

Au fur et à mesure du débat, des éléments de modèle sont développés mais tout autant éprouvés par les élèves. En effet, les éléments de modèles acceptés sont ceux qui font l'objet d'un consensus dans la relation didactique mais aussi ceux qui sont en cohérence avec les

macroséismes décrits par la sélection d'articles de journaux, sélection qui fonctionne ici comme une référence, et donc comme un milieu, fournissant des *rétroactions rationnelles*<sup>10</sup>, des raisons, pour la discussion. Notons également que ce sont ces mêmes articles de journaux à partir desquels les élèves ont produit les affiches qui initient la première phase de débat. C'est à cette articulation entre la production des affiches et le débat que nous allons maintenant nous intéresser.

## 4.2 Débat scientifique dans la classe et jeux épistémiques

En préalable au débat, chaque groupe de quatre élèves a rempli une affiche (cf. figure 2) qui sera ensuite placée sur le tableau lors du débat proprement dit. Nous analysons ce moment de production d'une affiche en groupe comme un premier jeu épistémique qui consiste à *décrire* sur l'affiche les cinq macroséismes relatés comme événements dans la sélection d'articles. La mise en relation de ces événements avec le modèle s'effectue au travers d'une décomposition et d'un tri. La stratégie gagnante pour les élèves consiste à trier les faits qui composent l'événement selon les catégories introduites par le professeur (manifestation, durée, effets/dégâts).

Le deuxième jeu épistémique fait immédiatement suite à ce premier jeu dans le déroulement de la séance. P<sub>2</sub> annonce la fin du temps imparti pour la première partie de la séance (le premier jeu selon notre description). Les élèves lui apportent leur affiche et il les dispose en ligne sur le volet central du tableau. P<sub>2</sub> demande aux élèves de lire puis de commenter les affiches. C'est lui qui conduit le débat. Le jeu qu'il propose aux élèves est ici de *critiquer* les productions des groupes lors du premier jeu. Ces productions jouent ici le rôle d'hypothèses candidates à la définition d'un modèle du séisme. La stratégie gagnante, pour les élèves, est dans ce deuxième jeu de confirmer ou de réfuter des éléments des affiches en se référant à des faits relatés dans les articles de la sélection du professeur.

Dans ce premier débat scientifique dans la classe, les affiches produites par les élèves lors du premier jeu épistémique ont le rôle de

---

(10) Les *rétroactions causales* fournissent des causes : quand on fait telle chose concrète, il se passe telle chose, et cet événement valide ou invalide directement la stratégie mise en oeuvre, l'événement est cause directe de validation ou d'invalidation. C'est le cas de la situation de l'agrandissement du puzzle (Brousseau, 1998) : si l'élève agrandit correctement les pièces, elles s'emboîtent et forment le puzzle ; dans le cas contraire, non. Les *rétroactions rationnelles* fournissent des raisons : tel énoncé est valide parce qu'on peut établir un argument rationnel garanti par tel ou tel élément du milieu. C'est le cas lors de la discussion des dégâts que peut occasionner un séisme : on peut affirmer qu'il est possible qu'un séisme ne soit pas meurtrier en évoquant l'article relatif au séisme d'Annecy comme raison de cette affirmation.

« base explicite d'un processus de modélisation » (Johsua & Dupin, 1999, p. 335). Ce processus se poursuit dans le deuxième jeu épistémique où les productions affichées sont mises en discussion dans un débat conduit par  $P_2$  « entre pairs » avec « des arguments « logiques » (c'est-à-dire considérés comme tels par la population d'élèves) » (*Ibid.*, p. 336). Ces deux jeux épistémiques fonctionnent de manière imbriquée : le premier jeu vise à produire des hypothèses candidates à être des éléments du modèle scientifique, puis ces hypothèses constituent le matériau du jeu suivant. Ce deuxième jeu consiste à valider ou à invalider les hypothèses modélisantes, issues du premier jeu, en les mettant en relation avec les objets ou les événements du modèle. Ces objets et événements du modèle sont majoritairement apportés par le professeur dans la définition du premier jeu et sont des objets du milieu de l'étude.

Dans le deuxième débat, nous identifions d'une manière isomorphe deux jeux épistémiques imbriqués dont la mise en œuvre est identique : le premier jeu fournissant le matériau pour le deuxième au cours duquel des éléments du modèle sont construits. Il s'agit d'attribuer un degré sur l'échelle MSK à chacun des macroséismes de la sélection d'articles de journaux et d'indiquer d'après quels indices dans le texte. C'est au regard de notre analyse *a priori* un jeu épistémique dont l'enjeu est *décrire* cinq macroséismes grâce à un outil : l'échelle MSK La stratégie gagnante est de classer les faits composant un événement macrosismique selon les degrés de l'échelle MSK <sup>11</sup> et d'en retenir le degré le plus élevé comme intensité du séisme. Dans ce jeu, la mise en relation s'effectue entre le modèle du séisme comme « secousses plus ou moins violentes » et les événements macrosismiques par une relation de dépendance des dégâts au contexte local. Dans le déroulement de la séance,  $P_2$  change de jeu pour la confrontation des résultats. Cette confrontation doit permettre de se mettre « d'accord sur les indices valables » ( $S_{22}$ -84P2) pour attribuer une intensité.  $P_2$  conduit le débat dans l'ordre du tableau support de l'activité et le complète au fur et à mesure de l'avancée du débat. Au premier jeu épistémique de *décrire* l'intensité succède ainsi un deuxième jeu épistémique consistant à *critiquer* les propositions de réponses des autres élèves produites lors du jeu précédent. Au-delà de la réponse chiffrée, l'enjeu est une critique de la stratégie d'utilisation de l'échelle MSK des autres élèves. La stratégie gagnante est une confirmation ou une réfutation se référant à la sélection d'articles de journaux relatant les macroséismes évalués.

---

(11) Chaque degré de l'échelle MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) comporte une description. Par exemple, au degré 5 correspond « les dormeurs sont réveillés, les volets battent, les tableaux bougent » et au degré 8 correspond « certaines maisons s'effondrent en partie, beaucoup ont de larges fissures, de nombreuses personnes éprouvent des difficultés à rester debout, des fissures apparaissent dans le sol ».

Nous avons spécifié ici quatre jeux épistémiques, fonctionnant deux par deux, constitutifs du débat analysé précédemment à partir d'extraits de corpus. C'est dans la mise en œuvre de ces jeux que les liaisons entre éléments de savoir résumés dans la figure 2 sont établies. Les énoncés d'élèves analysés plus haut sont autant de coups dans ces deux doublets de jeux épistémiques qui font avancer la modélisation du phénomène sismique dans la classe. Fort de ce premier résultat, nous poursuivons l'analyse de notre corpus.

## 5 MODÈLE ANALOGIQUE ET ÉVOLUTION DU MODÈLE CONCEPTUEL

Faisant suite au débat scientifique et à une présentation magistrale du sismographe,  $P_2$  montre aux élèves une simulation des dégâts causés par des séismes d'intensité croissante. Cette simulation est un modèle analogique qui va contribuer à l'évolution du modèle conceptuel<sup>12</sup>. Nous présentons tout d'abord l'introduction du sismographe dans le milieu par le professeur, avant de montrer à partir de la figure 2 l'évolution de la modélisation, puis nous nous intéressons aux jeux épistémiques dont l'issue fournit au modèle en cours de construction ses nouveaux éléments.

### 5.1 Le sismographe

Notre dispositif de recherche comporte un moment d'analyse croisée<sup>13</sup> du travail des deux professeurs. L'analyse croisée rassemble les deux professeurs, le chercheur et les films des séances observées de  $P_1$  et de  $P_2$ . Elle est croisée dans le sens où chacun des deux professeurs va commenter le travail de l'autre. Lors de cet entretien, un des deux professeurs visionne la séance mise en œuvre par son collègue, commente le travail de celui-ci et échange avec lui. Les rôles sont inversés dans un deuxième temps.

Au moment de l'analyse croisée qui nous intéresse,  $P_2$  commente le travail de  $P_1$ .  $P_2$  arrête le film pour remarquer avec  $P_1$  que tous deux ont présenté le sismographe d'une façon magistrale en l'accompagnant de

---

(12) Le cas se rencontre également dans l'histoire de la géologie. Ainsi, la géologue Atwater (2003, p. 245) relate-t-elle l'importance du modèle analogique de faille transformante de Wilson (une feuille de papier coupée et pliée) pour le modèle conceptuel de la tectonique des plaques et comment elle utilise encore ce modèle analogique avec ses étudiants. Earle (2004) reprend et détaille ce cas particulier de modélisation en didactique de la géologie.

(13) Pour ce point, notre méthodologie s'inspire de la méthode, en ergonomie, d'autoconfrontation croisée (Clot, 1999).

gestes à valeur explicative :  $P_1$  et  $P_2$  représentent avec une main le stylet et avec l'autre le cylindre enregistreur du sismographe. Puis, ils figurent une secousse où le stylet écrit sur le cylindre enregistreur.

168	$P_2$	Parce que là on n'est que dans le + moi ils n'ont pas compris non plus ils ont compris à quoi ça servait + mais comment ça marchait je ne suis pas sûr je ne sais pas toi
169	$P_1$	Non
170	$P_2$	Moi c'est pareil j'y pense parce que je te vois faire les mêmes gestes que j'ai fait moi
171	$P_1$	Non moi je leur disais vu que le stylo il est posé sur une feuille si ça tremble le stylo il bouge en fait mais tu vois c'était très caricaturé
172	$P_2$	Oui mais de toutes façons comment tu veux + moi je n'en ai jamais vu de ma vie
173	$P_1$	Moi non plus + et je leur ai dit si ça tremble le stylo il tremble et donc du coup il écrit sur la feuille + je crois que j'avais dit ça si ça tremble

Dans leur analyse croisée, les deux professeurs soulignent l'importance des gestes du maître pour aider les élèves à se représenter le fonctionnement d'un sismographe. Tous deux représentent par leurs gestes les mouvements du bras d'un sismographe mécanique lors d'un séisme. Tous deux commettent d'ailleurs la même erreur puisque, lors d'un séisme, ce n'est pas le stylet qui bouge mais le bâti. Malgré tout, ce qui est important à montrer, et ce que les élèves doivent se représenter, par le geste, est le principe de solidarité du tracé du sismographe avec les mouvements du sol.

Dans les deux séances, à ce moment-là, les élèves disposent dans le milieu d'un sismogramme.  $P_1$  et  $P_2$  expliquent par des gestes d'ostension la relation du sismogramme à l'événement sismique par le principe de solidarité de mouvement du sismographe et du sol.  $P_1$  et  $P_2$  réalisent cette ostension car ils n'arrivent pas à construire le jeu épistémique correspondant pour les élèves, jeu dont l'enjeu serait la mise en relation sismogramme-séisme. L'action du professeur vise ici à produire une conception du fonctionnement du sismographe pour que l'élève se l'approprié. L'analyse peut faire relever, alors, deux aspects contradictoires. D'une part, le travail sur l'instrument sismographe peut en puissance – en utilisant le vocabulaire de l'épistémologie développée par Cartwright (1999) – constituer cet *aménagement* d'une théorie « abstraite » des séismes à un modèle particulier dans lequel les « comportements » sur sismographe, une fois qu'ils seront établis sous la forme graphique des sismogrammes, vont fournir les éléments d'un modèle interprétatif. D'autre part, il est clair que cette fonction de l'instrument n'est pas vraiment pensée en tant que telle par les professeurs. Expliquer le fonctionnement d'un sismographe ne semble aisé ni pour  $P_1$  ni pour  $P_2$ .  $P_1$  analyse son explication comme « très caricaturée » (171 $P_1$ ).  $P_2$  y voit le résultat d'un manque « moi je n'en ai jamais vu de ma vie » (172 $P_2$ ). Cette difficulté nous semble en partie expliquée dans le travail de Roubaud (2001, p. 96). Dans son analyse

des manuels scolaires, celui-ci constate que « plus que l'explication de son fonctionnement, c'est surtout du rôle des sismographes dont il est question dans les manuels contemporains », manuels dont on peut sans doute penser avec l'auteur qu'ils constituent l'origine essentielle du savoir géologique de bon nombre de professeurs. Dans cette perspective, ceux-ci n'ont pas la possibilité d'étudier le fonctionnement d'un sismomètre (moderne) en construisant leur séance à l'aide d'un manuel. Ils y sont surtout confrontés au rôle d'un sismographe (mécanique) qu'ils *enseignent* à leur tour, ceci contribuant à en faire, pour le sismologue Bernard une « image d'Épinal [qui] se porte bien » (Bernard, 2003, p.42). Toutefois, dans la suite de la séance, le sismographe devient un objet du milieu disponible pour continuer à faire évoluer le modèle du séisme en cours de construction.

## 5.2 De nouvelles relations

Lors de la phase que nous avons intitulée « ondes sismiques », P<sub>2</sub> demande aux élèves de décrire une carte d'isoséistes du séisme d'El Asnam (Algérie) de 1980 puis de répondre à la question *Pourquoi, d'après vous, l'intensité du séisme est différente selon les endroits ?* Les élèves répondent par groupe puis P<sub>2</sub> conduit la mise en commun des réponses. Nous classons ces réponses en deux catégories :

- une première catégorie où les énoncés produits sont plus une description de l'objet carte d'isoséistes et de la situation géographique qu'une explication proprement dite

S<sub>22</sub>-730JE : Au plus c'est loin au moins c'est fort

S<sub>22</sub>-748LE : Les villes sont plus loin du séisme donc l'intensité n'est pas la même

S<sub>22</sub>-764PL : L'intensité est plus forte si on est à côté du centre du séisme elle est moins forte si on est plus loin

- une deuxième catégorie, moins descriptive et plus spéculative, où les élèves cherchent à expliquer les faits représentés par la carte d'isoséistes

S<sub>22</sub>-753BO : L'intensité est différente selon les endroits car plus on s'éloigne moins le séisme a de puissance

S<sub>22</sub>-757AL : Car en se déplaçant elle perd de la puissance

S<sub>22</sub>-773BA : S'éloignent d'où ils frappent comme les tremblements de terre s'éloignent ils sont moins puissants car les villes sont trop éloignées.

Dans une transition vers le jeu d'apprentissage suivant, P<sub>2</sub> souligne le consensus dans les hypothèses « vous avez tous parlé de distance par rapport au tremblement de terre » (789P<sub>2</sub>). Puis, il propose aux élèves une simulation pour valider ou non cette hypothèse. La simulation est magistrale. Sur une table, le professeur a disposé régulièrement quatorze cartes à jouer dressées deux par deux en ligne :

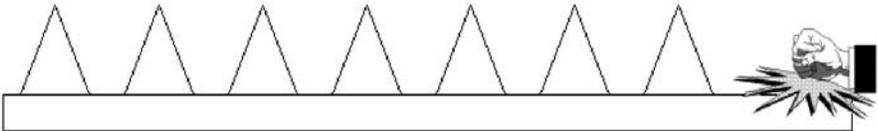


Figure 3 : **Simulation magistrale d'un séisme**

Les cartes à jouer figurent des constructions humaines. Le professeur frappe du poing de plus en plus fort pour figurer des séismes d'intensité croissante<sup>14</sup>. Dans l'épisode que nous relatons, l'enseignant s'apprête à donner un premier choc sur la table.

814	P <sub>2</sub>	Il [le séisme] perd de la puissance en se déplaçant alors on va voir donc je vais simuler un séisme un petit chut un petit d'abord pour voir hein ici
<i>P<sub>2</sub> frappe sur la table. Toutes les cartes restent debout.</i>		
815	E	Ça ne marche pas
816	P <sub>2</sub>	Rien ne se passe
817	PL	Non perçu par les hommes + non perçu par les hommes
818	P <sub>2</sub>	Ah bravo qu'est-ce que tu viens de dire ?
819	PL	C'est degré un sur la CMS
820	P <sub>2</sub>	Sur l'échelle de MSK il a dit non perçu par les hommes ça serait peut-être le degré un
821	PL	Que par les sismographes
822	P <sub>2</sub>	Personne s'en est aperçu que par les sismographes peut-être
823	E	Ben c'est normal

Le choc du poing sur la table ne fait tomber aucune des paires de cartes. Dans le langage du modèle, le séisme ne détruit aucune construction humaine. PL établit une relation entre ce résultat de la modélisation et l'échelle MSK : le séisme est *non perçu par les hommes* (817PL). P<sub>2</sub> félicite PL « bravo » et lui demande de répéter « qu'est-ce que

(14) Soulignons au passage la source potentielle de conceptions erronées que peut constituer de représenter un phénomène souterrain comme le séisme par un choc « en surface ». Dans une simulation analogue, Deunff (1995, p. 130) figure le séisme par un choc sous la table. Remarquons également qu'un séisme n'est pas causé par un choc, mais par le « rebond élastique » (Reid, 1910) de contraintes accumulées de part et d'autre d'une faille. Figurer un séisme par un choc peut, au moins en puissance, venir renforcer la conception erronée selon laquelle un séisme résulte d'un heurt entre deux plaques tectoniques.

tu viens de dire ? » (818P<sub>2</sub>). PL poursuit son explication « c'est degré un » (819PL) mais se trompe sur le nom de l'échelle. P<sub>2</sub> le corrige et reprend la déclaration de PL « il a dit non perçu par les hommes ça serait peut-être le degré un » (820P<sub>2</sub>). PL précise une deuxième fois son explication « que par les sismographes » (821PL) et P<sub>2</sub> lui fait écho (822P<sub>2</sub>). Un élève déclare que « c'est normal » (823E). Dans cet épisode, les prévisions des élèves et le résultat de la simulation sont en accord. Cet accord permet de valider comme élément du modèle l'amortissement du séisme avec la distance.

Nous notons également à l'œuvre dans ce bref épisode une orientation de la perception qui nous permet de le caractériser comme significatif d'un collectif de pensée (Fleck, 1934/2005). En effet, élèves et professeur font le même constat : lors de cette première simulation, aucune carte n'est tombée. En quelques tours de parole, on passe d'un constat d'échec de la simulation « ça ne marche pas » (815E) à un résultat de la simulation « c'est degré un » (819PL) alors qu'à l'évidence rien n'a changé sur la table. Cette deuxième façon de voir la situation est un élément fondateur du collectif de pensée en gestation dans la classe où elle tend à se naturaliser « ben c'est normal » (823E).

Tout ceci nous conduit à faire évoluer les relations entre éléments du savoir construites de la figure 2 à la figure 4.

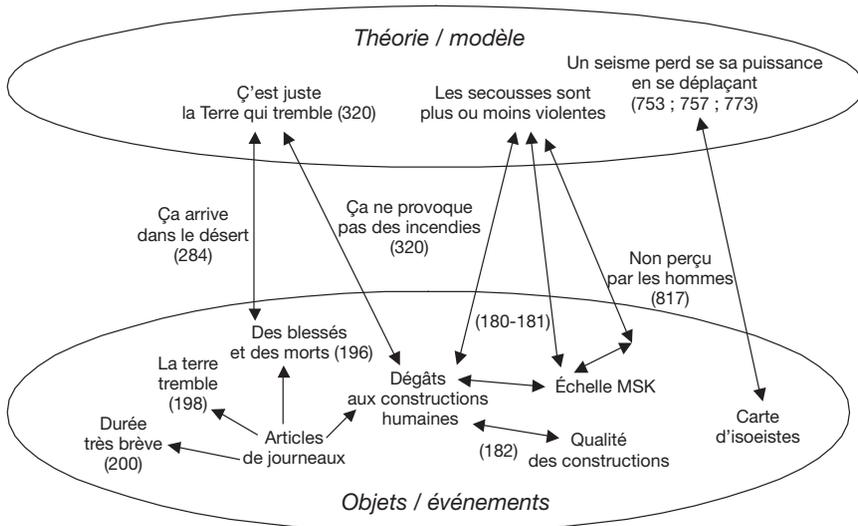


Figure 4 • Relations établies à l'issue de l'épisode de simulation magistrale (les éléments nouveaux par rapport à la figure 2 sont en majuscules)

### 5.3 Jeux épistémiques imbriqués

À l'instar de notre analyse du débat scientifique, nous identifions dans cette mise en simulation du modèle un doublet de jeux épistémiques imbriqués.

Le premier jeu épistémique prend place avant la simulation de la figure 3. Il consiste à *expliquer* les faits observés que représente la carte d'isoséistes du séisme d'El Asnam. La stratégie gagnante est de construire une relation entre l'épicentre du séisme et les mesures de l'événement en des points différents par l'amortissement en surface du séisme à partir de l'épicentre. Le deuxième jeu est de *prédire* les résultats de la simulation magistrale d'un macroséisme. Cette prévision se fait sur la base de la carte d'isoséistes étudiée dans le jeu précédent. Ce deuxième jeu de *prédire* permet de mettre en relation le modèle de propagation du séisme avec un des objets du modèle, les courbes isoséistes, par l'amortissement du séisme à partir de l'épicentre de la même manière que dans le jeu épistémique précédent.

De même que lors des deux phases de débat scientifique, la construction d'éléments du modèle peut ici aussi se comprendre comme le fonctionnement d'un doublet de jeux épistémiques imbriqués. Le premier jeu épistémique a pour enjeu la production d'hypothèses d'éléments du modèle et le deuxième jeu a pour enjeu de valider ou d'invalider ces hypothèses, faisant ainsi évoluer ou non le modèle en cours de construction.

Dans ces jeux, on peut se rendre attentif à certains équilibres didactiques. Un équilibre milieu-contrat, dans la mesure où les remarques des élèves (en particulier, ici, PL) sont produites en appui sur le milieu – milieu immédiatement antérieur à l'activité présente (carte d'isoséistes) et milieu actuel (les cartes dressées sur la table choquée par le professeur). Les documents, tout comme la simulation professorale, constituent ainsi des sources pour la réflexion et l'action verbale des élèves, sources dotées d'une certaine autonomie par rapport aux intentions professorales (la carte d'isoséistes est un objet en soi, et les conséquences des chocs sur la table possèdent un pouvoir causal indépendant). Cela dit, on voit bien que les remarques des élèves ne sont pas indépendantes du contrat didactique : P<sub>2</sub> résonne ainsi avec force aux remarques de PL, pour le féliciter (818P<sub>2</sub>), puis pour reprendre en polyphonie<sup>15</sup> deux tours de parole de PL (817 et 819) dans une seule déclaration (820P<sub>2</sub>), polyphonie qu'il réitère en 822 lorsqu'il reprend en écho l'expression « que par les sismographes ». À cet équilibre contrat-milieu correspond une partition épistémique

(15) Terme employé ici au sens de certains linguistes – notamment Bakhtine (1970) et Ducrot (1984) – et qui consiste à voir dans un énoncé les traces de plusieurs points de vue différents (Charaudeau et Maingueneau, 2002).

particulièrement intéressante, dans laquelle l'interprétation des effets de *l'instrument* que constituent les cartes assemblées sur la table choquée est menée de manière coopérative par le professeur et PL : le professeur, comme nous venons de le décrire, reprend les déclarations de PL et les objets et relations qu'elles actualisent. Ce faisant, il les institutionnalise dans le fonctionnement de la classe, validant ainsi l'avancée du temps didactique que produisent les énoncés de PL, qu'on peut ici considérer comme élève *chronogène* (Sensevy, 1998).

## 6 MODÉLISATION, MILIEU, ET CONSTRUCTION DE LA RÉFÉRENCE

Dans cette partie, nous reprenons les éléments précédents de construction d'un modèle du séisme en terme de milieu didactique.

### 6.1 Systèmes sémiotiques et instruments

Les séismes sont par essence un objet d'étude qui n'est directement ni observable ni propice à l'expérimentation. Professeurs et élèves ont alors recours à la manipulation de représentations publiques dans la construction d'un modèle du séisme. L'importance du choix de ces représentations (proprement verbales, ou sémiotiques) réside dans le fait que ce sont ces mêmes ostensifs qui permettent par leur manipulation l'élaboration du modèle et sa validation. C'est le cas de la sélection d'extraits d'articles de journaux relatant des macroséismes. Leur manipulation permet d'élaborer les premières hypothèses d'éléments non-ostensifs du modèle et de les éprouver dans un doublet de jeux épistémiques imbriqués *expliquer/critiquer*. On a vu dans l'analyse du débat comment les articles de journaux fonctionnent comme un ensemble de faits qu'il s'agit de « reprendre » et de résumer au sein d'un système sémiotique déterminé (le tableau à remplir par les groupes). Les jeux épistémiques que nous avons décrits peuvent ainsi s'articuler à une représentation publique (l'ensemble des affiches produites par les groupes) qui constitue alors un objet majeur du milieu pour la discussion. Le professeur conduit les transactions au sein des jeux épistémiques en montrant notamment aux élèves comment s'orienter dans les textes et dans les affiches, dans une sorte de lecture dirigée qui oriente la perception des élèves et commence à dessiner les linéaments d'un collectif de pensée spécifique des séismes.

Il semble trivial d'écrire que, la sélection d'articles de journaux ne comportant pas de microséismes, les élèves ne peuvent pas en la

manipulant construire un modèle intégrant les microséismes. Or les microséismes sont plus nombreux et plus fréquents que les macroséismes. Leur étude est un élément important de notre compréhension de l'activité géodynamique. Le choix en amont des objets du milieu surdétermine le modèle que pourront construire les élèves.

De même, l'échelle MSK partielle est une forme sémiotique particulière à l'étude des séismes dans un deuxième doublet de jeux épistémiques imbriqués *expliquer/critiquer*. Lors de l'analyse croisée de leurs séances, les deux professeurs  $P_1$  et  $P_2$  reviennent sur son caractère partiel.

27	$P_2$	Ça ça a été une grosse erreur parce que l'échelle que j'ai donnée elle n'était pas complète il y avait un trois quatre huit
28	$P_1$	Et s'ils voulaient mettre au milieu ils ne pouvaient pas
29	$P_2$	Et alors on va discuter pendant des heures moi je pense c'est plutôt ++ oui tu vois c'était un mauvais choix je ne suis pas arrivé à les mettre d'accord ++ tu vois là discussion de marchands de tapis

Dans ce bref échange,  $P_1$  explique les difficultés d'utilisation de l'échelle MSK partielle par les actions limitées que permet cet objet « s'ils [les élèves] voulaient mettre au milieu ils ne pouvaient pas » (28 $P_1$ ).  $P_2$  ajoute qu'avec cet objet il n'est « pas arrivé à les [les élèves] mettre d'accord » (29 $P_2$ ) pendant le débat scientifique dans la classe. L'échelle MSK partielle n'a pas permis d'arriver à un consensus entre élèves aussi large que dans la précédente phase de débat scientifique. Dans le jeu du débat scientifique dans la classe, la stratégie gagnante doit rallier les autres élèves sur la base d'« arguments *logiques* (c'est-à-dire considérés comme tels par la population d'élèves) » (Johsua & Dupin, 1999, p.336). Ces arguments logiques ont pour substrat les objets du milieu. Le choix en amont de la séance des objets du milieu surdétermine le déroulement du débat par les possibilités de rétroactions rationnelles, et par là de consensus, qu'ils permettent. Une échelle MSK complète dans ses degrés nous semble plus adaptée dans ce cas. Elle laisse le jeu « *ouvert* aux yeux des élèves et nécessitant une recherche effective » (*Ibid.*, p.338) et est plus propice au consensus dans le débat.

Les séismes sont un objet d'étude « non-ostensible » à la différence, par exemple, de la germination que l'on peut expérimenter en classe. Le seul moyen pour le professeur de donner à se représenter les séismes aux élèves réside dans l'emploi des formes sémiotiques et leur manipulation, en relation avec des instruments existants (le sismographe) ou *ad hoc*. Les jeux construits par le professeur avec ces instruments, et les systèmes sémiotiques qui les accompagnent, sont déterminés par les *comportements* et les *capacités* (Cartwright, 1999) inhérents à ces mêmes instruments, tels qu'ils peuvent être sémiotisés, et faire consensus dans le collectif

de pensée de la classe. Ainsi, ce qui est essentiel dans un sismographe mécanique, c'est la *capacité* d'inertie de la masse pesante qu'il comporte et qui va permettre d'enregistrer sur un tracé le *comportement* du bâti de l'appareil qui, lui, est solidaire des mouvements de la Terre.

## 6.2 L'attestation de nouvelles actions

L'introduction du sismographe dans le milieu par  $P_1$  et  $P_2$  permet aux élèves d'envisager de nouvelles actions, principalement la possibilité d'enregistrer des microséismes et de mesurer leur magnitude, mais aussi de mesurer la magnitude de macroséismes en dehors de toute construction humaine, ce que ne permet pas l'échelle MSK. Dans les séances observées,  $P_1$  et  $P_2$  valident les nouvelles possibilités du milieu quand les élèves en font état. Par cette technique d'aménagement du milieu, par exemple en faisant écho à certains énoncés,  $P_1$  et  $P_2$  attestent pour tous les élèves de la classe de nouvelles actions disponibles dans le milieu. Les stratégies gagnantes ne sont plus les mêmes et la conception macrosismique apparaît comme un cas particulier d'une conception où le séisme est défini comme l'activité géodynamique qui s'enregistre par des pics sur un sismogramme. Conception que nous qualifions de *sismographique*. Avec ces nouvelles actions, le collectif de pensée de la classe peut continuer à élaborer le modèle du séisme du macroséisme à l'ensemble des séismes. La construction du modèle en classe évolue avec la succession des milieux didactiques, comme on peut le voir en comparant la figure 2 avec la figure 4.

Dans la construction du milieu pour le débat, le professeur choisit des objets-instruments qui contiennent eux aussi des possibles et des nécessaires. Par exemple, la présence d'un sismogramme dans le milieu du débat indique déjà *un possible*, enregistrer l'activité sismique, et *un nécessaire*, le modèle construit doit être en accord avec la trace sismique scientifique. De même, après l'introduction dans le milieu du sismographe, les possibles et les nécessaires changent de façon déterminante. Il devient possible de mesurer l'intensité d'un séisme de manière absolue, indépendamment du contexte local, et il devient nécessaire de faire évoluer le modèle pour y intégrer les microséismes. Les possibles et les nécessaires construits dans le débat, et par extension la construction du modèle, sont en interaction avec les possibles et les nécessaires générés par le milieu. La construction du milieu par le professeur surdétermine ainsi la modélisation en classe : l'évolution du domaine des actions possibles est ainsi une évolution des comportements et capacités que les élèves deviennent capables de reconnaître dans les instruments étudiés.

## CONCLUSION

### Des conceptions du séisme

De l'analyse de notre corpus, nous inférons deux grands types de conceptions du séisme par les élèves. La première est littéralement celle du tremblement de terre : l'observateur sent la terre trembler et voit les dégâts des secousses. Seuls les macroséismes existent dans cette conception. Les secousses peuvent s'expliquer par un mécanisme souterrain ou non. Nous qualifions cette conception de macrosismique. La deuxième grande conception du séisme est celle d'une activité tellurique qui s'enregistre par des pics sur un sismogramme. Cette définition du séisme envisage macroséismes et microséismes. Elle s'affranchit du contexte local (effet de site, qualité des constructions, etc.). Le séisme s'explique par un mécanisme uniquement souterrain, qui peut-être le même que dans la première conception, mais qui est plus ou moins perceptible en surface. Nous qualifions cette conception de sismographique. L'introduction, dans l'étude, du sismographe, et des nouvelles actions disponibles qui lui sont associées, fait de ce moment un moment de rupture avec la conception macrosismique et va vers la conception sismographique.

Ces deux conceptions ne sont pas exclusives de celles identifiées par Allain (1995) ou Deunff *et al.* (1995) chez les élèves de l'école élémentaire ni de celles identifiées par Roubaud (2001) chez les professeurs des écoles stagiaires. Nous retrouvons dans nos observations la conception d'un choc entre deux plaques tectoniques (plus ou moins bien identifiées) comme étant à l'origine du séisme, conception que l'on retrouve dans les trois travaux cités. Cette conception d'un choc tectonique est compatible aussi bien avec une conception macrosismique du séisme qu'avec une conception sismographique. La violence du choc peut alors permettre d'expliquer l'existence des microséismes, comme on peut l'inférer de cet énoncé d'élève (S<sub>12</sub>-67RO) « c'est juste au moment où les plaques elles vont à peine mais à peine mais à peine se toucher et ça ne va pas faire beaucoup ». Si le mécanisme reste analogue, le modèle diffère dans ses capacités (choc très violent ou léger) et ses comportements (perceptible ou imperceptible), tel que l'actualise l'extrait de corpus analysé en 5.2 ou, pour prendre un exemple dans les séances de P<sub>1</sub>, l'énoncé S<sub>12</sub>-88BE « s'il faut là il y en a un [un séisme] nous mais on ne le sent pas et le sismographe lui il le sent. » Notons au passage une différence d'ordre méthodologique : les auteurs cités infèrent les conceptions qu'ils décrivent à partir de questionnaires (d'élèves ou de professeurs stagiaires) tandis que nous les inférons à partir de transcrits de séances de classe.

Ce qui nous intéresse dans l'évolution de la conception macrosismique à la conception sismographique, rendue possible par

l'instrument éponyme, c'est l'extension du phénomène sismique du seul catastrophique au relatif, puis à l'imperceptible. Ainsi, entre le début de la séance  $S_{21}$  et la fin de la séance  $S_{22}$ , le terme de séisme, ou tremblement de terre, passe d'une première acception intuitive et spontanée à une acception plus proche de celle du collectif de pensée des sismologues. Ainsi, outre le progrès que cela représente en lui-même, l'évolution de l'acception du terme est consubstantielle aux propositions pré-quantitatives des figures 2 (les secousses sont plus ou moins violentes) et 4 (un séisme perd de sa puissance en se déplaçant) qui sont des éléments du modèle. Nous retrouvons ici ce que nous désignions en début d'article par le holisme du modèle, c'est-à-dire sa solidarité avec un arrière-fond matériel et sémiotique qui lui donne un contenu spécifique.

## Jeux épistémiques et modélisation

Dans les séances étudiées, la construction d'éléments du modèle s'effectue dans des jeux épistémiques que nous avons décrits comme imbriqués. En premier lieu, nous identifions un premier jeu épistémique qui a pour enjeu la production écrite d'hypothèses candidates à être par la suite des éléments du modèle scientifique. Puis, ces hypothèses issues du premier jeu sont ensuite le matériau d'un deuxième jeu qui consiste à les valider ou à les réfuter, en les mettant en relation avec les objets ou les événements relatifs au modèle qui sont disponibles dans la classe. C'est cette reprise des résultats du premier jeu comme éléments du second qui nous conduit à les considérer dans une imbrication. Cette technique professorale nous semble particulièrement adaptée à la modélisation dans la classe. Du point de vue de *la théorie de l'action didactique conjointe* (Sensevy & Mercier, 2007 ; Sensevy, 2007), les éléments du modèle du séisme sont tout autant une cible des jeux d'apprentissage que les jeux épistémiques où ils s'élaborent. C'est selon nous la relation à établir entre les deux notions : en classe, les jeux épistémiques sont des *cibles* des jeux d'apprentissage. Ainsi, lors du débat sur les caractéristiques d'un séisme, le jeu d'apprentissage a pour enjeu à la fois l'appropriation d'un savoir sur les séismes et l'appropriation du jeu épistémique *critiquer* les affiches, les productions écrites des pairs. Le professeur n'accorde généralement pas le gain à un élève produisant un énoncé correct mais qui relève d'un argument d'autorité. Il faut également que l'élève montre que cet énoncé est bien une critique raisonnée. Un moyen privilégié pour ce faire est la mise en jeu de rétroactions rationnelles du milieu qui viennent dans le débat objectiver le point de vue défendu. Ainsi, dans la classe, le professeur agit afin que les élèves tirent parti du milieu. C'est par exemple le cas lors de l'introduction du sismographe dans le milieu. Les deux professeurs

observés utilisent alors une même technique d'attestation de nouvelles actions disponibles dans le milieu : celles relatives aux microséismes et à la mesure absolue que permet un sismographe. Il ne s'agit alors pas seulement pour le professeur de construire un milieu pour la modélisation mais de jouer sur le jeu de l'élève de telle sorte que les potentialités du milieu soient actualisées.

D'un point de vue méthodologique, la spécification de jeux épistémiques cibles comme concourant à la modélisation des séismes dans la classe a nécessité que nous produisions une analyse des savoirs en jeu à deux échelles de temps : une analyse à l'échelle mésoscopique, celle du temps didactique et de l'introduction de nouveaux éléments de savoir, et une analyse microscopique, celle de l'énoncé, d'une granularité plus fine (Tiberghien *et al.*, 2007). À l'échelle mésoscopique, nous avons pu identifier les jeux épistémiques cibles au sein des séances (tableau 2, mais aussi tableau 1 pour  $P_1$ ) et décrire leur fonctionnement (cf. 4.2 et 5.3). À l'échelle microscopique, nous nous sommes intéressés aux énoncés des élèves et du professeur, via des extraits de corpus dans cet article, et nous avons montré quelles relations s'établissaient (cf. figure 2 et figure 4) entre des éléments de savoir. Ces énoncés se comprennent alors comme autant de coups dans les jeux épistémiques cibles. Nous n'aurions su parvenir à ce résultat avec une analyse à une échelle de temps unique. C'est dans une « complexité organisée des niveaux de description » (Descombes, 1998, cité par Sensevy, 2007, p. 42-43) que nous l'obtenons.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALLAIN J.-C. (1995). Séismes, éruptions volcaniques et intérieur de la Terre : conceptions d'élèves de huit à dix ans. *Aster*, n° 20, p. 43-60.
- ATWATER T. (2003). When the plate tectonic revolution met western north America. In N. Oreskes (éd.) *Plate tectonics: an insider's history of the modern theory of the Earth*. Boulder COBLE, Westview press, p. 243-263.
- BAKHTINE M. (1970). *La Poétique de Dostoïevski*. Paris, Seuil.
- BERNARD p. (2003). *Qu'est-ce qui fait trembler la terre ?* Paris, EDP Sciences.
- BLUM C. (Dir.) (2005). *Le Nouveau Littré*. Paris, édition Garnier.
- BROUSSEAU G. (1998). *Théorie des situations didactiques*, Grenoble, La Pensée Sauvage.
- BUTY C., TIBERGHIE A. & LE MARECHAL J.-F. (2004). Learning hypotheses and associated tools to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, vol. XXVI, n° 5, p. 579-604.
- CARTWRIGHT N. (1999). *The dappled world. A Study of the boundaries of sciences*. Cambridge, Cambridge university press.
- CHARAUDEAU P. & MAINGUENEAU D. (2002). *Dictionnaire d'analyse du discours*. Paris, Seuil.
- CHEVALLARD Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- CLOT Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris, PUF.

- COLLINS A. & FERGUSON W. (1993). Epistemic forms and epistemic games: Structures and strategies to guide inquiry. *Educational Psychologist*, vol. XXVIII, n° 1, p. 25-42.
- DESBIAUX-SALVIAT R. & ROJAT D. (2006). Réalité et virtualité dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre. *Aster*, n° 43, p. 109-132.
- DEUNFF J. (Dir.). (1995). *La géologie à l'école. Découverte du monde qui nous entoure. La Terre notre planète. Tome 1*. Poitiers, CRDP Poitou-Charentes.
- DUCROT O. (1984). *Le Dire et le dit*. Paris, Minuit.
- EARLE S. (2004). A simple paper model of a transform fault at a spreading-ridge. *Journal of geoscience education*, vol. IV, n° 52, p. 391-392.
- FLECK L. (1934/2005). *Genèse et développement d'un fait scientifique*. Paris, Les Belles Lettres.
- HACKING I. (1983/1989). *Concevoir et expérimenter*. Paris, Bourgois.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J (1989). *Représentations et modélisations : le « débat scientifique » dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne, Peter Lang.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J (1999). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- MERCIER A. & SALIN M.-H. (1988). L'analyse a priori, outil pour l'observation. *Actes de l'Université d'été « Didactique et formation des maîtres à l'école élémentaire »*, Bordeaux, IREM de Bordeaux.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2002a). *Qu'apprend-on à l'école élémentaire ? Les nouveaux programmes*. Paris, CNDP.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2002b). *Fiches connaissances. Cycles 2 et 3*. Paris, CNDP.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2002c). *Enseigner les sciences à l'école. Outil pour la mise en œuvre des programmes 2002 cycle 3*. Paris, CNDP.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2005). Programmes des collèges. Volume 2. Classes de cinquième et de quatrième. Mathématiques, sciences de la vie et de la Terre, physique-chimie. *BOEN*, hors-série n° 5.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2006). Socle commun de connaissances et de compétences. *BOEN*, n° 29, p. 1-15.
- OHLSSON S. (1996). Learning to do and learning to understand: a lesson and a challenge for cognitive modeling. In P. Reiman & H. Spada (éd.), *Learning in Humans and Machine*. Oxford, Pergamon Elsevier Science, p. 37-62.
- REID H. (1910). *The California earthquake of April 18, 1906. Vol. 2 Mechanics of the earthquake*. Washington D.C., Carnegie Institution of Washington.
- ROUBAUD J.-L. (2001). *Une approche de la Transposition Didactique : étude des conceptions d'étudiants de première année d'IUFM sur les grands phénomènes géologiques, objets à enseigner à l'école élémentaire*. Thèse de doctorat en science de l'éducation, université de Aix-Marseille-1.
- SCHUBAUER-LEONI M.-L. & LEUTENEGGER F. (2002). Expliquer, comprendre dans une approche clinique/expérimentale du didactique ordinaire. In F. Leutenegger & M. Saada-Robert (éd.), *Expliquer, comprendre en sciences de l'éducation*. Bruxelles, De Boeck, p. 227-251.
- SENSEVY G. (1998). *Institutions didactiques. Étude et autonomie à l'école élémentaire*. Paris, PUF.
- SENSEVY G. (2002). Représentations et action didactique. *L'Année des sciences de l'éducation 2002*, p. 67-90.

SENSEVY G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action du professeur. In G. Sensevy & A. Mercier (éd.) *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes, PUR, p. 13-49.

SENSEVY G, MERCIER A, SCHUBAUER-LEONI M-L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur. À propos de la course à 20. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. XX, n° 3, p. 263-304.

SENSEVY G., MERCIER A., SCHUBAUER-LEONI M-L., LIGOZAT F. & PERROT G. (2005). An attempt to model the teacher's action in mathematics, *Educational studies in mathematics*, vol. LIX, n° 1, p. 153-181.

SENSEVY G., & SANTINI J. (2006). Modélisation : une approche épistémologique. *Aster*, n° 43, p. 163-188.

SENSEVY G., & MERCIER A. (éd.) (2007). *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes, PUR.

TIBERGHIE A., BUTY C. & LE MARÉCHAL J.-F. (2005a). Physics teaching sequences and students' learning. In D. Koliopoulos & A. Vavouraki (éd.), *Science and technology education at cross roads: meeting the challenges of the 21st century. The second conference of EDIFE and the second IOSTE symposium in Southern Europe*. Athènes, Grèce : Association for science education (EDIFE), p. 25-55.

TIBERGHIE A., & VINCE J. (2005b). Étude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du français contemporain*, n° 10, p. 153-176.

TIBERGHIE A., MALKOUN L., BUTY C., SOUASSY N., & MORTIMER E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. In G. Sensevy & A. Mercier (éd.) *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes, PUR, p. 93-122.



# **Les étudiants et les interférences lumineuses: cohérence des sources et principe de superposition**

**Students and light interference: coherence of their sources and principle of superposition**

**Los estudiantes y las interferencias luminosas: coherencia de las fuentes y principio de superposición**

**Studenten und Lichtinterferenzen: Quellenkohärenz und Superpositionsprinzip**

**Intissar ROMDHANE**

université Paris Diderot-Paris 7, Laboratoire de Didactique des Sciences Physiques.

**Laurence MAURINES**

université Paris-Sud 11, Groupe de didactique des sciences d'Orsay.

## **Résumé**

*Cet article présente les résultats d'une enquête exploratoire réalisée à l'aide de questionnaires écrits auprès de 321 étudiants (20-23 ans) ayant reçu un enseignement sur les interférences lumineuses. Elle porte sur les conditions d'obtention des interférences lumineuses liées à la cohérence temporelle et sur l'utilisation du principe de superposition des ondes dans différents contextes de cohérence. Nous retrouvons des tendances*

*de raisonnement déjà connues: utiliser des concepts voisins de ceux de l'optique géométrique, réduire le nombre de concepts à prendre en compte, privilégier des indices perceptibles. Quelques remarques sur les manuels scolaires et quelques propositions pédagogiques sont faites.*

**Mots-clés:** conceptions, université, interférences lumineuses, cohérence, principe de superposition des ondes

### **Abstract**

*This study is part of a research program exploring the difficulties encountered by 321 students (aged 20-23) when learning light interference at university. It concerns the conditions of obtaining the luminous interferences related to temporal coherence and the use of the principle of superposition of waves in various contexts of coherence. We find tendencies of reasoning already put forward : to use concepts close to those of geometrical optics, to reduce the number of concepts to be taken into account, to privilege perceptible indices. Some text-books have been analysed and some pedagogical implications are discussed.*

**Key words:** conceptions, university, light interference, coherence, principle of superposition of waves

### **Resumen**

*Este artículo presenta los resultados de una encuesta exploratoria realizada con ayuda de cuestionarios hechos por escrito ante 321 estudiantes (20 a 23 años) que han recibido una enseñanza sobre las interferencias luminosas. La encuesta trata de las condiciones de obtención de las interferencias luminosas vinculadas con la coherencia temporal y del uso del principio de superposición de las ondas en diferentes contextos de coherencia. Nos encontramos con tendencias de razonamiento ya conocidas: utilizar conceptos próximos a los de la óptica geométrica, reducir el número de conceptos tomados en cuenta, privilegiar los indicios perceptibles. Se hacen también, de paso, algunas observaciones sobre los libros de texto y algunas proposiciones pedagógicas.*

**Palabras clave:** concepciones, universalidad, interferencias luminosas, coherencia, principio de superposición de las ondas.

### **Zusammenfassung**

*Dieser Artikel legt die Ergebnisse einer Untersuchung vor, die an Hand von schriftlichen Fragebögen bei 321 20 bis 23jährigen Studenten durchgeführt wurde. Alle Studenten haben ein Seminar über Lichtinterferenzen besucht.*

*Dieser Artikel betrifft die Erwerbungsbedingungen der Lichtinterferenzen in Zusammenhang mit der zeitlichen Kohärenz und der Benutzung des Superpositionsprinzips der Wellen in verschiedenen Kohärenzkontexten. Wir finden schon bekannte Gedankengänge wieder Begriffe benutzen, die nah an denen der geometrischen Optik sind, die Anzahl der zu berücksichtigenden Begriffe reduzieren, wahrnehmbare Indizien begünstigen. Schließlich werden einige Bemerkungen über Schulbücher gemacht und einige pädagogischen Vorschläge angeboten.*

**Schlüsselwörter:** *Begriffe, Universität, Lichtinterferenzen, Kohärenz, Superpositionsprinzip der Wellen.*

## INTRODUCTION

Le travail que nous présentons ici fait partie d'une recherche portant sur les interférences lumineuses. Nous avons choisi ce thème de la physique car il a donné lieu à peu de travaux en didactique. En effet, la plupart des recherches portant sur la lumière mettent en jeu des situations pouvant être étudiées par l'optique géométrique comme la vision, la formation des ombres et des images données par un miroir ou une lentille convergente, la réflexion et la réfraction partielle à une interface (Goldberg & Mc Dermott, 1987; Kaminski, 1989; Singh & Butler, 1990). Quelques recherches seulement concernent des situations demandant l'utilisation de l'optique ondulatoire telles que la diffraction par une ouverture, les interférences données par les fentes d'Young, la formation des images en éclairage cohérent en présence de diffraction ou d'interférences, la cohérence spatiale (Ambrose *et al.*, 1999; Colin & Viennot, 2000; Maurines, 1997, 1999, 2000; Wosilait *et al.*, 1999). Par ailleurs, la plupart des recherches portant sur d'autres types d'onde (ondes transversales sur une corde, ondes sonores) s'intéressent à des situations de propagation (Linder & Erickson, 1989; Maurines & Saltiel, 1988; Maurines, 1998). Seuls quelques travaux traitent de la superposition des ondes: signaux se propageant sur une corde (Wittmann *et al.*, 1999); ondes sphériques cohérentes (Maurines, 2003).

Souscrivant à une vision constructiviste de l'apprentissage qui impose de tenir compte de l'apprenant, nous avons décidé face à ce constat de dégager et d'analyser les difficultés rencontrées par les étudiants lors de l'étude des interférences lumineuses dans l'enseignement supérieur. Nous nous sommes intéressées aux principales difficultés qu'un enseignant peut observer dans sa classe et non à celles d'un étudiant en particulier. Nous nous sommes attachées à montrer que les erreurs commises dans une situation donnée sont la manifestation de tendances typées de raisonnement qui se manifestent transversalement à ces

situations. Nous avons cherché à établir un modèle de raisonnement, c'est-à-dire une description cohérente organisée autour d'un petit nombre de caractéristiques des principales tendances de raisonnement observées. Nous faisons l'hypothèse qu'un étudiant ne se conformera pas nécessairement à tout le modèle mais qu'à un moment ou à un autre, il mettra en œuvre une tendance de raisonnement que ce modèle décrit. Nous n'avons pas cherché à dégager des «raisonnements spontanés» existant avant enseignement, mais à repérer, à travers les raisonnements des étudiants résultant des enseignements habituels, les difficultés et les obstacles possibles à l'acquisition des concepts relevant des interférences lumineuses. Ainsi, comme bien souvent dans ce genre d'études, il s'agit en premier lieu, de repérer des erreurs et en deuxième lieu, de chercher à comprendre ce qui, dans ces erreurs, peut être dû à l'enseignement et ce qui peut être attribué à des manières de pensée préexistant à l'enseignement. Nous avons supposé que les tendances de raisonnement que nous mettrons à jour rejoindront par certains aspects celles mises en évidence par Maurines (1997, 2000) dans le domaine des ondes, en particulier dans le cas de la diffraction de la lumière.

Après avoir précisé comment nous avons déterminé des thèmes et questions de recherche et fait des hypothèses sur les difficultés susceptibles d'être rencontrées par les étudiants, nous détaillerons les questions que nous avons choisi de traiter dans cet article et la méthodologie que nous avons suivie pour y répondre. Nous donnerons ensuite les résultats obtenus et le modèle que nous avons construit pour les interpréter. Nous terminerons par quelques remarques sur les manuels d'enseignement et quelques propositions pédagogiques.

## 1 QUESTIONS EXPLORÉES

Nous avons débuté notre recherche en nous intéressant au concept de déphasage car c'est un concept fondamental pour l'étude des situations nécessitant l'utilisation de l'optique ondulatoire (interférences et diffraction). Nous avons réalisé une mini-enquête pour le mémoire de DEA auprès d'étudiants tunisiens ayant reçu un enseignement (Romdhane, 2001). Il s'agissait essentiellement de voir si, pour eux, le déphasage entre deux ondes lumineuses en un point donné de l'espace dépend de la vitesse de propagation de l'onde, de la position de deux sources qui interfèrent, de la position de la source primaire dans le dispositif des fentes d'Young. Si les réponses obtenues à la question portant sur le lien entre le déphasage et la vitesse de propagation ont pu être exploitées (on y retrouve la difficulté à identifier l'invariant fondamental qu'est la fréquence de l'onde et la tendance à privilégier les concepts d'intensité et d'amplitude au détriment de celui de phase mises en évidence par Maurines, 1997,

1999, 2003), les réponses obtenues aux autres questions n'ont pu l'être car elles n'étaient pas assez nombreuses et explicites.

Les résultats de cette mini-enquête nous ont conduites à affiner notre analyse du domaine conceptuel et des difficultés susceptibles d'être rencontrées par les étudiants. Nous avons alors décidé de poursuivre notre recherche en prenant comme thématique centrale non pas celle du déphasage mais celle des interférences lumineuses.

Pour que notre travail puisse contribuer à améliorer l'enseignement des interférences aussi bien en Tunisie qu'en France, nous avons été amenées à nous intéresser aux programmes d'enseignement de ces deux pays. Les interférences lumineuses sont étudiées à différents niveaux d'enseignement selon différents niveaux de formulation. En France, les interférences et la diffraction de la lumière ne sont plus introduites en classe de terminale scientifique depuis la rentrée 2002. En classes préparatoires scientifiques, elles sont enseignées en deuxième année. À l'université, elles sont étudiées en troisième année, le plus souvent après avoir été abordées une première fois en deuxième année. En Tunisie, les interférences et la diffraction de la lumière sont encore introduites pour la première fois en classe de terminale scientifique. Elles sont enseignées en deuxième année en classes préparatoires et en quatrième année à l'université. En France comme en Tunisie, l'optique géométrique est abordée en première année en classes préparatoires et en général aussi d'université. Nous avons choisi de nous situer à un niveau d'enseignement équivalent à celui dispensé en deuxième année de classes préparatoires. Avant de poursuivre, disons quelques mots sur ces programmes, ce qui justifiera en partie le choix de nos thèmes et questions de recherche.

Les programmes des classes préparatoires en Tunisie et en France suivent le même ordre thématique. Il en est de même des programmes des universités où se trouvaient les étudiants que nous avons interrogés. Ils abordent d'abord les interférences lumineuses puis la diffraction. Plus précisément, le cours débute avec les interférences par division du front d'onde produites par des dispositifs tels que les fentes d'Young et les miroirs de Fresnel éclairés par une lumière totalement cohérente (lumière monochromatique émise par une source ponctuelle). Il se poursuit avec les interférences par division d'amplitude et des dispositifs tels que les lames à faces parallèles, les coins d'air, le Michelson. Les réseaux sont étudiés après le chapitre sur la diffraction. À l'université, les interféromètres à ondes multiples tels que le Fabry Pérot sont étudiés à partir de la troisième année. Dans le début de tous les programmes du supérieur consultés, une grande place est accordée aux conditions d'obtention des interférences liées à la largeur du spectre de la lumière émise par la source et à leur interprétation qualitative grâce au modèle du train d'onde, autrement dit à la cohérence temporelle de la lumière. Il est à noter que c'était également le cas dans

le programme de la classe de terminale scientifique en France avant la rentrée 2002. Les conditions d'obtention des interférences lumineuses liées à l'étendue de la source de lumière, c'est-à-dire à la cohérence spatiale de la lumière, font également partie des programmes du supérieur. Toujours abordées après les conditions d'obtention liées à la cohérence temporelle, elles apparaissent associées à un dispositif particulier dans la partie cours des programmes de classes préparatoires, le Michelson. L'interprétation quantitative des conditions d'obtention des interférences, c'est-à-dire le lien entre le contraste de la figure d'interférences et la nature de l'éclairage et la largeur de la source est abordée à l'université. C'est explicitement demandé en classes préparatoires dans les cas particuliers d'un doublet spectral émis par une source ponctuelle (sauf dans la filière mathématique-physique) et de deux sources ponctuelles monochromatiques (uniquement dans la filière physique et technologie).

Parallèlement à cette étude des programmes, nous en avons réalisé quatre autres afin de préciser les thèmes et questions de recherche : une analyse de la physique des interférences lumineuses et de son histoire, un examen des manuels d'enseignement, une analyse des résultats des recherches sur les conceptions dans le domaine des ondes. L'analyse de la physique des interférences lumineuses nous a permis de construire un cadre de référence en physique. Nous avons cherché à donner une vision cohérente et unifiée du domaine, organisée autour d'un petit nombre de connaissances. Nous n'en donnerons ici qu'un aperçu lorsque nous présenterons les réponses correctes aux questions que nous avons posées aux étudiants. Ce cadre nous a permis de définir quelques points délicats à explorer et nous a servi de référence à laquelle comparer les manuels d'enseignement, les résultats des recherches sur les conceptions dans le domaine des ondes, l'histoire de la physique des interférences lumineuses. Nous avons ainsi pu émettre d'autres hypothèses sur les difficultés susceptibles d'être rencontrées par les étudiants. Par la suite, l'ensemble de ces quatre études nous a permis d'analyser les réponses des étudiants.

Le domaine des interférences lumineuses ayant été peu exploré sur le plan de la didactique, nous avons choisi de nous centrer sur les situations d'interférences introduites en début d'enseignement : les situations d'interférences à deux ondes. Nous avons également décidé de consacrer une grande part de notre travail à une question fondamentale sur laquelle les programmes d'enseignement mettent l'accent et sur laquelle les scientifiques ont buté autrefois, celles des conditions de l'obtention des interférences lumineuses et de leur interprétation, autrement dit à la question de la cohérence de la lumière. Comme il existait deux études sur les interférences produites par le dispositif des fentes d'Young éclairé en lumière monochromatique (Ambrose *et al.*, 1999 ; Wosilait *et al.*, 1999), nous avons élargi le domaine d'investigation à d'autres dispositifs interférentiels

à deux ondes (miroirs de Fresnel, lames à faces parallèles ou non), et à d'autres types d'éclairage (ondes quasi-monochromatiques ou dont le spectre comporte deux radiations, sources étendues ou constituées de deux sources ponctuelles). Comme les recherches en didactique montrent l'existence de difficultés liées à la formation d'image par une lentille en présence d'interférences et de diffraction (Colin & Viennot, 2000 ; Maurines, 2000), nous avons choisi des situations expérimentales dans lesquelles les interférences sont observées par l'œil, soit directement, soit uniquement à l'aide d'un écran.

Notre recherche sur les interférences lumineuses est constituée de deux séries d'enquêtes. Elles constituent deux niveaux d'étude du phénomène. Lors de la première série d'enquêtes, nous avons cherché à savoir de quels facteurs dépend l'existence d'interférences lumineuses pour les étudiants : nature de la lumière émise, largeur et position de la source de lumière, dispositif interférentiel. Nous avons également examiné comment les étudiants expliquent, notamment à l'aide de schémas, le phénomène d'interférences obtenues avec différents dispositifs et dans différents contextes de cohérence. Les résultats obtenus lors de cette première série d'enquêtes nous ont conduites à réaliser une deuxième série d'enquêtes. Nous avons examiné si les étudiants connaissent le modèle du train d'onde et les différents critères permettant de caractériser la cohérence de la lumière. Nous avons approfondi la question de l'utilisation du principe de superposition des ondes dans des situations d'éclairage partiellement cohérent. Par ailleurs, comme des raisonnements mécanistes avaient été mis en évidence dans le domaine des ondes, nous nous sommes intéressées aux grandeurs caractérisant la propagation d'une onde (vitesse, fréquence, longueur d'onde) dans une situation d'interférences. Le tableau 1 précise les thèmes abordés dans chacune des séries d'enquêtes.

Notre recherche a donné lieu à deux bilans partiels (Romdhane & Maurines, 2003, 2005) et à une synthèse (Romdhane, 2007). Nous ne présentons ici qu'une partie du travail réalisé lors de la première série d'enquêtes. Nous nous intéressons à deux thèmes : les conditions d'obtention des interférences lumineuses liées à la cohérence temporelle, l'utilisation du principe de superposition des ondes dans différents contextes de cohérence.

Première série d'enquêtes	Deuxième série d'enquêtes
Conditions d'obtention des interférences lumineuses	Figures d'interférences en éclairage partiellement cohérent
Figures d'interférences en éclairage totalement cohérent	Caractérisation de la cohérence spatio-temporelle de la lumière
Dispositifs interférentiels (trous d'Young, miroirs de Fresnel, lames à faces parallèles et en coin)	Grandeurs caractérisant la propagation d'une onde dans une situation d'interférences
Principe de superposition des ondes dans différents contextes de cohérence	

**Tableau 1 • Thèmes explorés dans la recherche sur les interférences lumineuses**

Dans cet article, nous apporterons des éléments de réponse aux questions suivantes :

- les étudiants connaissent-ils les conditions d'obtention des interférences lumineuses? Savent-ils que deux sources de fréquences différentes ne peuvent pas donner des interférences, qu'il en est de même pour deux sources identiques mais indépendantes, que deux lasers identiques peuvent par contre produire des interférences? Comment expliquent-ils ces différences? Leurs arguments font-ils appel à un modèle particulier de l'émission lumineuse, celui de l'émission aléatoire de train d'ondes, ou bien à autre chose?
- les étudiants savent-ils que l'existence des interférences ne dépend pas du déphasage relatif des sources, du moment que celui-ci est constant au cours du temps? La tendance à se centrer sur un aspect de la situation rencontrée dans de nombreux domaines de la physique (Viennot, 1996), en particulier dans le domaine des ondes (Maurines, 1999, 2000, 2003), ne les conduira t-elle pas à se focaliser sur les sources et à ne pas prendre en compte le déphasage introduit par la propagation et à nier l'existence d'interférences dans le cas de sources en opposition de phase?
- les étudiants savent-ils qu'il est nécessaire d'avoir deux sources secondaires pour avoir des interférences? Pensent-ils qu'une seule source suffit, comme les étudiants de première année d'université interrogés par Ambrose *et al.* (1999) aux États-Unis à propos du dispositif des fentes d'Young dans lequel une fente est rendue opaque? Si oui, quelles explications fournissent-ils? Conçoivent-ils aussi la figure d'interférences comme la superposition de deux figures créées par chacune des sources secondaires? Utilisent-ils une règle d'addition des intensités lumineuses comme en optique

géométrique classique ou bien le principe de superposition des ondes de l'optique ondulatoire ?

- comment les étudiants expliquent-ils l'existence d'une figure d'interférences, en particulier dans le cas de trois sources secondaires et non de deux ? Font-ils appel au concept de phase et au principe de superposition des ondes spécifiques à l'optique ondulatoire ? Retrouve-t-on les tendances à utiliser des concepts et principes voisins de ceux de l'optique géométrique, notamment une règle d'addition des intensités, mises en évidence par Ambrose *et al.* (1999), Colin et Viennot (2000) et Maurines (1997, 1999, 2000) ?
- comment les étudiants raisonnent-ils lorsque la lumière n'est pas cohérente spatialement (deux sources primaires ponctuelles) ou temporellement (une source primaire ponctuelle émettant deux radiations monochromatiques) ? Considèrent-ils que la figure d'interférences obtenue est la superposition de deux figures d'interférences produites par chaque source primaire ou chaque radiation ? Autrement dit, utilisent-ils d'abord le principe de superposition des ondes de l'optique ondulatoire puis la règle d'addition des intensités lumineuses de l'optique géométrique classique ?
- est-ce que les étudiants savent distinguer des sources secondaires cohérentes (deux trous d'Young élargis éclairés par une lumière cohérente) et incohérentes (deux trous d'Young devant lesquels sont placés des filtres différents) ? Savent-ils utiliser le principe de superposition des ondes dans ces différents contextes ?

## 2 MÉTHODOLOGIE

Nous avons choisi d'utiliser essentiellement des questionnaires pour mener à bien notre recherche car nous voulions avoir des résultats démonstratifs et facilement transmissibles. Pour réaliser les deux séries d'enquêtes, nous avons construit une quinzaine de questionnaires comportant en moyenne quatre questions. Celles de la première série d'enquêtes ont été définies par les études préalables et testées au cours de cinq entretiens. Elles ont ensuite été ajustées et précisées. Les questions de la deuxième série d'enquêtes n'ont pas été testées lors d'entretiens car l'analyse *a priori* avait été jugée suffisante.

Comme notre objectif n'était pas uniquement de faire un bilan des difficultés des étudiants et d'établir un ensemble disparate de questions-réponses, nous avons fabriqué des familles de questions possédant une

caractéristique commune, d'autres pouvant varier par ailleurs. L'apparition d'un même type de réponses dans un ensemble de telles familles est en effet tout autant significatif sinon plus qu'un taux élevé de réponses à une seule question. Elle montre en effet que les difficultés des étudiants sont liées à l'existence de raisonnements possédant une certaine cohérence interne qui leur donne un caractère général et prédictif. Un type de raisonnement n'existant pas en soi mais dépendant de la situation qui l'a suscité, nous devons tenir compte des deux. Nous cernons ainsi le raisonnement et son domaine d'utilisation. Nous avons suivi en cela la méthodologie détaillée par Closset et Viennot (1984).

Certains questionnaires portent sur un dispositif interférentiel précis (les trous d'Young, les miroirs de Fresnel, les lames à faces parallèles ou non), d'autres ne concernent que des sources secondaires, d'autres encore que des sources primaires. Les autres traitent du modèle du train d'onde et des grandeurs caractérisant la cohérence de la lumière. Toutes les questions sont qualitatives et demandent une justification de la réponse. La plupart portent sur l'existence d'interférences et l'aspect de la figure d'interférences, pour certaines il s'agit de décrire et d'expliquer ce qui se passe dans une situation donnée, pour d'autres de faire une comparaison avec une situation de référence identique à un facteur près. Beaucoup de questions demandaient aux étudiants d'accompagner leur réponse d'un schéma. La question se posait en effet de savoir sur quels types de rayons et de sources le raisonnement des étudiants se fonde : ceux de l'optique géométrique ou ceux de l'optique ondulatoire ?

Compte tenu du caractère exploratoire de cette étude, nous avons cherché avant tout à mettre en évidence des typologies de difficultés et à proposer les premiers éléments d'interprétation. Les réponses obtenues ont été analysées questionnaire par questionnaire et question par question. Pour chaque question, nous avons cherché à dégager un nombre minimum de catégories significatives en tenant compte à la fois des réponses brutes et des justifications données, et le cas échéant des schémas. Les résultats obtenus à l'ensemble des questionnaires ont ensuite été rapprochés. Nous avons alors pu constater que les éléments d'interprétation avancés pouvaient rendre compte des réponses obtenues à plusieurs questions et relevaient de quatre tendances de raisonnement. Nous avons ainsi adopté une méthodologie comparable à celle suivie par Minstrell (1992).

Les questionnaires ont été distribués à 758 étudiants français et tunisiens ayant reçu un enseignement équivalent à celui dispensé en deuxième année de classes préparatoires. Il est à noter qu'ils avaient tous reçu un premier enseignement sur les interférences lors de leurs études secondaires. Les étudiants n'ont pas eu à répondre à tous les questionnaires si bien que le nombre de réponses obtenues à une question varie. La nature et l'effectif des populations interrogées à chaque questionnaire n'ont pas

permis, à cette étape de la recherche, de faire une analyse comparative systématique des résultats en fonction de l'enseignement suivi. Nous avons dépouillé les réponses données à un questionnaire sous-groupe par sous-groupe puis comparé les résultats de chaque sous-groupe. Comme ceux-ci ne présentaient pas de différence significative, nous les avons regroupés et supposé que nous mettions à jour des tendances fortes de raisonnement de sens commun dans le cas de réponses similaires fournies à des questions pour lesquelles les programmes faisaient apparaître des différences d'approches (par exemple pour les lames minces). Les pourcentages associés à chaque catégorie significative ne peuvent être interprétés qu'en tant que tendances majoritaires ou minoritaires. Un pourcentage de 25 % de réponses erronées après enseignement peut être le signe d'une difficulté s'il était légitime d'attendre un pourcentage nul ; il en est de même d'un nombre faible de réponses correctes ou d'un nombre élevé de non-réponses.

### 3 RÉSULTATS

Les quatre questionnaires portant sur les thèmes abordés dans cet article ont été distribués à une population totale de 321 étudiants : étudiants français en licence de physique et en préparation au Capes de sciences physiques, étudiants tunisiens en deuxième année de classes préparatoires et en quatrième année de maîtrise de physique.

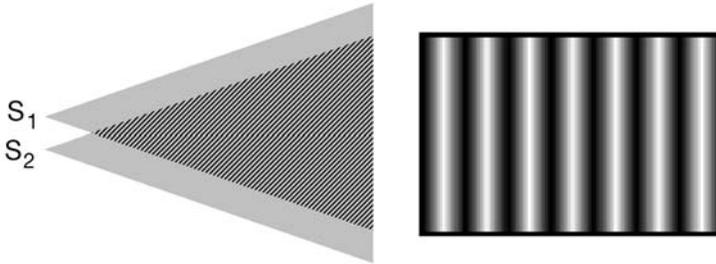
#### 3.1 Les étudiants et les conditions de cohérence temporelle des sources

Nous avons examiné cette question en proposant à 47 étudiants un questionnaire présentant les trois situations décrites dans l'encadré 1.

<p>Pour chacune des situations suivantes, peut-on observer un phénomène d'interférences sur l'écran E ? Si oui, représentez la figure observée. Expliquez pourquoi on observe ce phénomène en vous aidant d'un schéma si besoin est. Si non, qu'observe-t-on sur l'écran et pourquoi ?</p> <p><b>Situation 1</b> : S1 et S2 sont deux lampes à vapeur de sodium considérées comme des sources ponctuelles.</p> <p><b>Situation 2</b> : S1 et S2 sont deux lampes considérées comme des sources ponctuelles monochromatiques émettant des lumières de longueur d'onde différentes.</p> <p><b>Situation 3</b> : S1 et S2 sont deux lasers He-Ne dont on a élargi le faisceau lumineux grâce à un dispositif optique non représenté. Les faisceaux sont divergents.</p>	
--	--

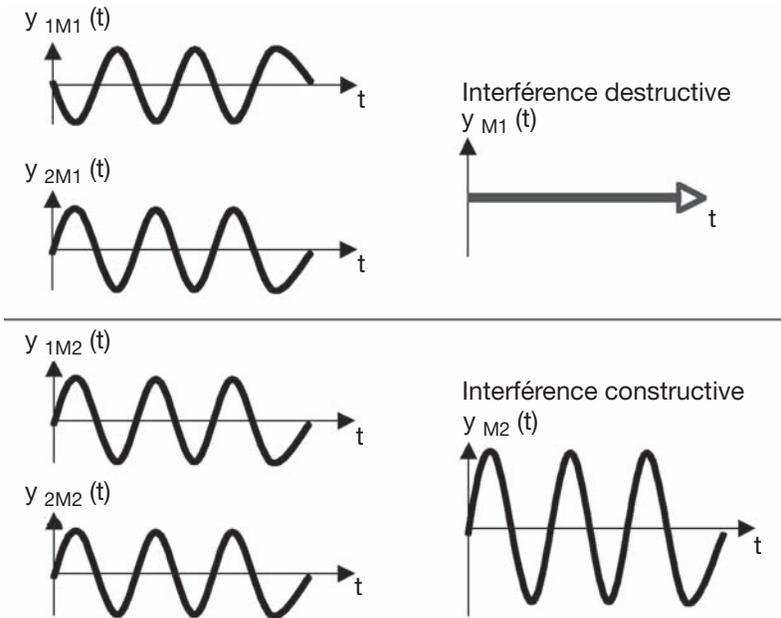
#### Encadré 1 • Les questions concernant les conditions de cohérence temporelle des sources

Commençons par préciser le contenu théorique visé par ces questions. On dit qu'il y a «interférences» lorsqu'il existe des franges alternativement sombres et brillantes dans la zone commune à plusieurs faisceaux lumineux (encadré 2).



**Encadré 2 • Les interférences lumineuses: alternance de franges sombres et brillantes**

Seul un modèle ondulatoire de la lumière fondé sur le principe de superposition des ondes peut expliquer ce phénomène. Celui-ci dit qu'en un point M de la zone commune, la fonction décrivant l'onde résultant de l'existence de deux ondes, émises simultanément par deux sources  $S_1$  et  $S_2$ , est égale à la somme des fonctions décrivant les deux ondes prises séparément. L'encadré 3 explicite le cas de la superposition de deux ondes sinusoïdales. Les graphes représentent les fonctions décrivant ce qui se passe en un point M de l'espace au cours du temps lors de la propagation de l'onde émise par  $S_1$  seule ( $y_{1M}(t)$ ), par  $S_2$  seule ( $y_{2M}(t)$ ), par les deux ( $y_M(t)$ ). Le déphasage des deux ondes dépend de la différence de trajets entre le point d'observation M et les deux sources, donc du point M. Les ondes émises par les deux sources ayant la même amplitude mais étant en opposition de phase en  $M_1$ , l'onde résultante en  $M_1$  a une amplitude nulle (interférence destructive: frange sombre). En un point  $M_2$  où les deux ondes composantes sont en phase, l'onde résultante sera décrite par une fonction sinusoïdale d'amplitude maximale (interférence constructive: frange brillante).



**Encadré 3 • Principe de superposition des ondes  $y_M(t) = y_{1M}(t) + y_{2M}(t)$**

Pour obtenir l'intensité détectée par un récepteur (un œil par exemple), il faut prendre le carré de la fonction associée à l'onde, et en prendre la valeur moyenne temporelle pour tenir compte du temps de réponse du récepteur. L'intensité de l'onde résultante ainsi obtenue est égale à la somme des intensités des ondes prises séparément et d'un troisième terme appelé « fonction de corrélation ». Cette fonction n'est pas nulle lorsqu'il y a des interférences : les ondes ne vérifient pas dans ce cas la règle d'addition des intensités de l'optique géométrique classique. Dans le cas où cette fonction de corrélation est nulle, il n'y a pas d'interférences : les ondes vérifient la règle d'addition des intensités de l'optique géométrique classique.

Deux faisceaux issus de deux sources ponctuelles donnent des interférences si les sources sont cohérentes. Cela signifie qu'elles ont la même fréquence et que le déphasage entre les deux sources est constant au cours du temps. Il n'existe pas de source ponctuelle de lumière rigoureusement monochromatique, autrement dit, il n'existe pas d'onde lumineuse sinusoïdale de durée infinie. La lumière émise par les sources dites « quasi-monochromatiques » est constituée d'une succession de trains d'ondes de même fréquence émis aléatoirement. La durée d'un train d'onde est d'autant plus grande que le spectre en fréquence de la lumière est étroit. Deux sources quasi-monochromatiques, identiques et

indépendantes, peuvent donner lieu à des interférences si la durée des trains d'ondes est supérieure au temps de réponse du récepteur. Deux lampes à vapeur de sodium ne peuvent donner des interférences. Ce n'est que récemment, que des interférences ont pu être obtenues avec deux lasers (Hecht, 2002).

Les résultats obtenus aux questions présentées dans l'encadré 1 sont regroupés dans le tableau 2.

Situation (N = 47)	Interférence	Pas d'interférence	Pas de réponse
1. deux lampes identiques	57 %	36 % correct	7 %
2. deux sources monochromatiques non synchrones	23 %	68 % correct	9 %
3. deux lasers	68 % correct	26 %	6 %

Tableau 2 • Résultats bruts en pourcentage

À la première situation mettant en jeu deux lampes indépendantes identiques autres que des lasers, un nombre important d'étudiants donne une réponse fautive en disant qu'on peut observer des interférences (57 %, N = 47). Un grand nombre des 17 justifications fournies (57 %) mentionnent que les sources sont cohérentes. Un grand nombre également (69 %) montrent que les étudiants confondent les critères de cohérence temporelle et de cohérence spatiale. En effet, elles font référence au fait que les lampes à vapeur de sodium sont ponctuelles et non à l'émission aléatoire de trains d'onde ou à la largeur du spectre de la lumière émise. Un nombre inférieur d'étudiants répond correctement (36 %, N = 47). Les 16 justifications fournies mentionnent le fait que les sources sont incohérentes d'une part (56 % : « *les deux sources indépendantes sont incohérentes* ») et non monochromatiques d'autre part (19 %).

À la deuxième situation mettant en jeu deux sources monochromatiques non synchrones, un nombre non négligeable d'étudiants répond de manière incorrecte en disant qu'on peut observer des interférences (23 %, N = 47). Sur les 10 justifications fournies, les caractéristiques des deux sources ne sont pas comparées. Les étudiants se focalisent sur celles d'une source sans qu'il s'agisse d'une confusion entre battement et interférence (le mot battement n'apparaît pas) et tout semble se passer comme si une source unique pouvait donner des interférences : « *chaque longueur d'onde a son propre système de franges* ». Une majorité d'étudiants (68 %) répond correctement en disant qu'il n'y a pas d'interférences mais peu justifient leur réponse. Quatre précisent que les sources ne sont pas synchrones et huit qu'elles sont incohérentes.

À la troisième situation mettant en jeu deux lasers, la plupart des étudiants répondent correctement en disant qu'il existe des interférences (68 %, N = 47). Cependant, ces étudiants ne justifient pas toujours correctement leur réponse. En effet, sur les 19 justifications fournies, on en rencontre qui font référence à la ponctualité des sources (16 %) ou à leur synchronicité (21 %). Seules 21 % des justifications se réfèrent à la cohérence du laser: «*les lasers sont des sources cohérentes*». Il est à noter que beaucoup d'étudiants insistent sur le fait que les deux faisceaux se superposent (58 %, N = 47) : » *il existe une zone commune*».

### 3.2 Les étudiants et les sources en opposition de phase

Pour explorer cette question, nous avons élaboré un questionnaire demandant quelles sont les modifications de la figure d'interférences observée sur un écran lorsqu'une caractéristique de la situation de référence est modifiée. Le déphasage entre les sources secondaires est l'une d'entre elles. Lorsque les deux sources sont en opposition de phase, il existe toujours une figure d'interférences sur l'écran mais celle-ci est décalée par rapport à la figure donnée par deux sources en phase.

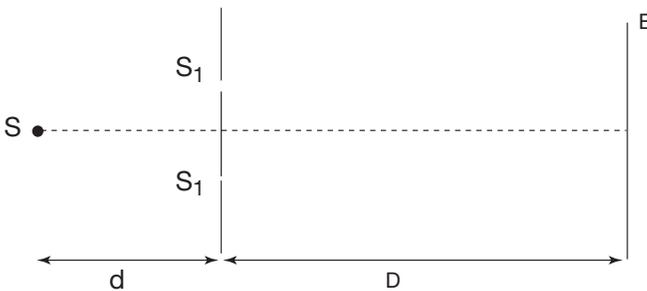
Notons tout d'abord qu'un nombre non négligeable d'étudiants ne répondent pas (24 %, N = 76) et que deux étudiants donnent une réponse incorrecte en disant que la figure d'interférences ne change pas. La majorité des étudiants (76 %, N = 76) répondent à juste titre que la figure d'interférences observée sur un écran et donnée par deux sources secondaires ponctuelles est modifiée lorsque les deux sources ne sont plus en phase mais en opposition de phase. Il y a cependant un nombre non négligeable d'étudiants (28 %, N = 76) qui disent qu'il n'y a «*pas d'interférence*». Les justifications fournies font appel au fait que «*les sources ne sont pas cohérentes*» (4 %) ou que «*les sources ne sont pas en phase*» (5 %). Tout se passe comme si pour les étudiants, la différence de phase entre deux ondes était constante durant la propagation ou comme si le terme «*cohérence*» signifiait «*en phase*».

Parmi les 48 % d'étudiants qui répondent qu'il y a des interférences lumineuses, seulement 25 % mentionnent un changement de la position des franges: «*la position des franges sombres qui va prendre la place des franges brillantes*» (13 %) ou «*les franges seront décalées*» (12 %). Les autres étudiants précisent des changements erronés concernant soit une autre caractéristique géométrique (forme des franges 14 %, écartement 11 %, direction 4 %), soit une caractéristique énergétique (luminosité 12 %, contraste 13 %). Un nombre plus petit d'étudiants fait référence à la couleur (5 %).

### 3.3 Les étudiants et le principe de superposition des ondes

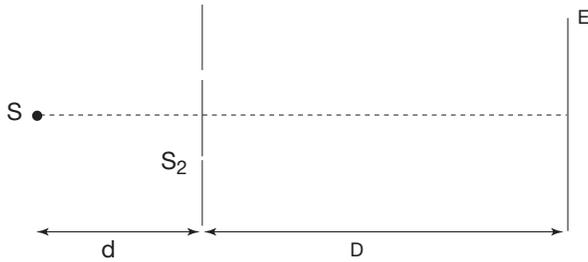
Les trains d'ondes émis par une source de lumière quasi-monochromatique ordinaire étant émis de manière aléatoire, il est nécessaire de créer deux sources secondaires présentant un déphasage constant au cours du temps à partir d'une source primaire pour obtenir des interférences. Il existe plusieurs dispositifs pour créer des sources secondaires. Celui appelé dispositif des trous d'Young, constitué par deux « petits » trous percés dans un écran opaque, est l'un d'eux. Pour examiner comment les étudiants utilisent le principe de superposition des ondes, nous avons choisi de leur présenter plusieurs situations se rapportant à ce dispositif car les sources secondaires sont bien « visibles » contrairement à ce qui se passe pour les miroirs de Fresnel et les lames minces. Elles diffèrent de celles de la situation de référence par le nombre et la taille des sources primaires et secondaires (situations 1 à 4 de l'encadré 4), par la nature de la lumière émise par la source primaire (encadré 6) ou les sources secondaires. Selon les situations, les étudiants doivent avoir recours au principe de superposition des ondes seul (cas d'une lumière totalement cohérente) ou bien d'abord à ce principe puis à une règle d'addition des intensités (cas d'une lumière partiellement incohérente) ou bien uniquement à une règle d'addition des intensités (cas d'une lumière totalement incohérente).

**Situation de référence :** On place une source lumineuse  $S$ , monochromatique et ponctuelle, devant un écran percé de deux trous,  $S_1$  et  $S_2$ , distants de «  $a$  ». Les trous sont suffisamment petits pour pouvoir être assimilés à des points. La distance trous-source est «  $d$  » et la distance trous-écran d'observation  $E$  est «  $D$  ».

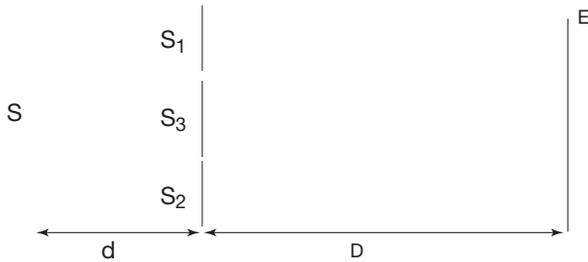


*Pour chacune des situations suivantes, indiquez si la figure observée sur l'écran est identique ou non à celle de la situation de référence. Si elle est différente, précisez ce qui a changé (écartement des franges, position, luminosité, contraste, autre chose...) et justifiez votre réponse en vous aidant d'un schéma.*

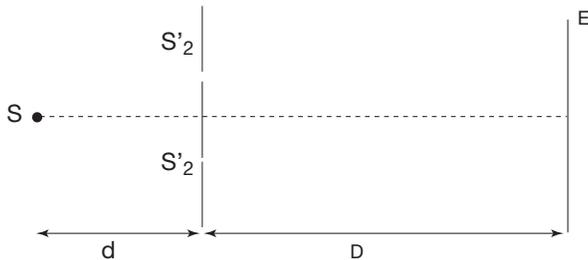
**Situation 1 :** On cache le trou S1



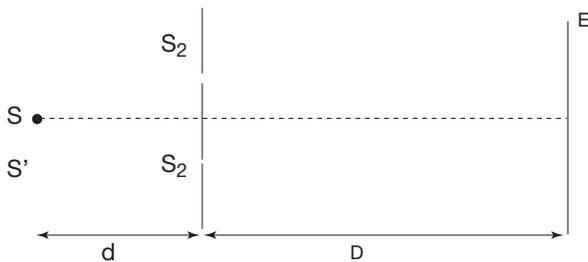
**Situation 2 :** On utilise la source monochromatique ponctuelle de la situation de référence et un écran percé de trois trous équidistants assimilés à des points, S1, S2, S3



**Situation 3 :** On utilise la source ponctuelle monochromatique S et un écran percé de deux trous S'1 et S'2. Ces trous sont petits mais on ne peut plus les considérer comme des points.



**Situation 4 :** On utilise deux sources ponctuelles monochromatiques S et S' identiques à celle de la situation de référence



**Encadré 4 • Les étudiants et les trous d'Young en lumière quasi-monochromatique**

### ***Le principe de superposition des ondes en lumière quasi-monochromatique***

La diffraction de la lumière ne pouvant pas être négligée au niveau de chacun des trous (encadré 4), les trous se comportent comme deux sources de lumière émettant dans toutes les directions. Dans la zone commune aux faisceaux lumineux issus des deux trous, des franges d'interférences peuvent être observées quand les trous sont cohérents. Cela se produit quand les trous sont éclairés par une source primaire « suffisamment petite ». L'aspect des franges observées sur l'écran dépend de la largeur des trous percés dans l'écran et de la dimension de la source primaire, pour une longueur d'onde donnée et des distances source-trous et trous-écran données.

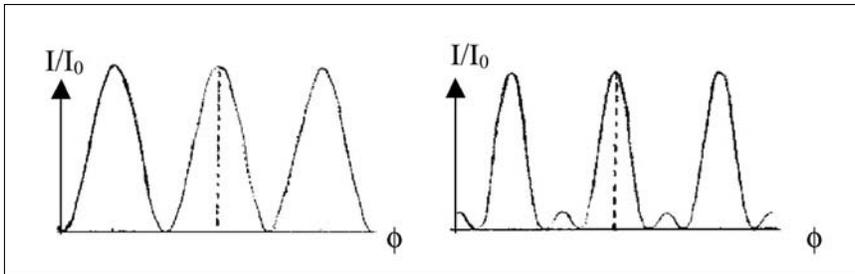
Quand la source primaire est ponctuelle (cohérence spatiale totale), les trous présentent un déphasage constant au cours du temps. Si ceux-ci sont assimilables à des points, la figure d'interférence sera identique à celle donnée par deux sources ponctuelles : les franges sont bien contrastées, rectilignes, équidistantes et perpendiculaires au plan de la figure de l'encadré 4. Si les trous ne peuvent plus être considérés comme ponctuels (situation 3 de l'encadré 4), la figure observée sur l'écran sera identique à celle donnée par la superposition des ondes émises par deux sources étendues : les franges rectilignes d'interférences sont modulées par les anneaux dus à la diffraction de la lumière par un trou. La largeur du champ d'interférences observé sur l'écran sera d'autant plus grande que le diamètre des trous est petit.

Quand un des trous est caché (situation 1 de l'encadré 4), la figure observée sur l'écran n'est plus une figure d'interférences due à la superposition des ondes émises par les deux trous mais une figure de diffraction due à la superposition des ondes émises par les points de la surface d'un trou. Les franges de diffraction diffèrent des franges d'interférences. Dans le cas d'une source secondaire de forme circulaire, les franges de diffraction sont des anneaux centrés sur une tache centrale.

Quand la source primaire n'est plus ponctuelle (situation 4 de l'encadré 4), la figure observée sur l'écran est moins contrastée (cohérence spatiale partielle). Cela s'explique en disant qu'elle résulte de la superposition des figures d'interférences données par chaque point de la source primaire. Les figures d'interférences étant décalées l'une par rapport à l'autre, les maxima d'une figure peuvent coïncider avec les minima d'une autre et les franges disparaître. Alors que dans les situations précédemment décrites de cohérence spatiale totale (source ponctuelle, trous ponctuels ou non), seul le principe de superposition des ondes doit être utilisé, dans cette situation de cohérence spatiale partielle, le principe de superposition des ondes est d'abord utilisé pour obtenir la figure d'interférences donné par un point de la source primaire puis une règle

d'addition des intensités des figures d'interférences données par chaque point de la source primaire.

Lorsque la source ponctuelle éclaire non pas deux trous mais trois (situation 2 de l'encadré 4), nous observons une figure d'interférences différente de celle obtenue avec deux trous. Si les franges d'intensité maximale sont plus lumineuses que dans le cas de deux trous, elles sont aux mêmes endroits et plus fines que dans le cas de deux trous, et il y a, en plus, entre deux franges consécutives, une frange brillante d'intensité plus petite entourée de deux franges sombres (encadré 5). Pour interpréter cette répartition de l'intensité lumineuse sur l'écran, on procède de la même façon que dans le cas de deux trous : on utilise d'abord le principe de superposition des ondes qui conduit à additionner les fonctions associées aux ondes issues de chacun des trous, ici au nombre de trois et non de deux, et on prend ensuite la valeur moyenne temporelle du carré de la fonction somme.



Encadré 5 • **Interférences avec deux puis trois sources secondaires (Duffait, 1997, p. 62)**

### *Nombre de sources secondaires (situations 1 et 2)*

À la première question où un trou est caché, une majorité d'étudiants répond correctement, en disant que la figure observée n'est pas identique à celle de la situation de référence. En effet, 88 % des 57 étudiants disent qu'il n'y a plus d'interférences. La majorité des justifications (47 %) mentionne qu'il faut au moins deux sources pour avoir des interférences : « *phénomène d'interférence s'il y a au moins deux sources secondaires, on n'observe pas sur l'écran une figure identique à celle de la situation de référence* ». 12 % précisent qu'une tache est observée sur l'écran. Ce résultat est différent de celui obtenu par Ambrose *et al.* (1999) auprès d'étudiants de première année d'université aux États-Unis. En effet, 40 % d'entre eux (N = 200) affirme l'existence d'interférences quand une des fentes d'Young est cachée. Tout se passe comme si la figure observée sur l'écran était pour eux la juxtaposition ou la superposition des figures de diffraction données par chaque fente.

À la deuxième question mettant en jeu trois trous, beaucoup d'étudiants ne répondent pas (23 %,  $N = 57$ ) ou donnent une réponse incorrecte. En effet, pour 23 % des étudiants, la figure d'interférences n'a pas changé. Pour quelques-uns, ce n'est qu'« *une figure d'interférence à trois trous* » (9 %). Quelques justifications (4 %) sont proches de celles obtenues par Ambrose: la figure d'interférences semble être la superposition des figures de diffraction produites par un trou, « *chaque source produit son propre système d'interférence* ».

54 % des étudiants répondent que la figure d'interférences a changé. 7 % des étudiants seulement disent qu'il existe un phénomène d'interférence « *avec augmentation du nombre de franges* ». Beaucoup (40 %) considèrent que l'intensité augmente. On rencontre trois types de raisonnement, tous incorrects, qui ne s'appuient pas sur le principe de superposition des ondes mais sur une règle d'addition des intensités des figures d'interférences :

- la figure correspondant aux trois trous semble être la superposition des figures produites par chaque trou «  $I = I_1 + I_2 + I_3$  ». On retrouve ici un type de justification également fourni par les étudiants qui disent que la figure n'a pas changé.
- la figure correspondant aux trois trous correspond à la superposition de deux figures produites par deux trous: « *superposition de deux systèmes d'interférences l'un formé par  $S_3$  et  $S_1$  et l'autre par  $S_3$  et  $S_2$*  ».
- la figure correspondant aux trois trous est une figure d'interférences à deux trous à laquelle on ajoute la figure due à un trou: « *le troisième trou introduit un autre système d'interférence* ».

Quel que soit le type de raisonnement, les étudiants ne considèrent pas que les trois trous sont cohérents entre eux. Les trous peuvent être tous incohérents (premier cas) ou cohérents deux par deux (deuxième cas). Deux trous peuvent être cohérents entre eux et incohérent avec le troisième (troisième cas).

### ***Largeur des sources secondaires (situation 3)***

À la troisième question où les trous ne peuvent plus être considérés comme ponctuels, 16 % des 57 étudiants ne répondent pas et 3 % disent qu'il n'y a pas de changement: « *on obtient une figure d'interférences identique à la première* ». Les autres étudiants, c'est-à-dire la majorité (81 %), répondent que la figure observée sur l'écran est différente, ce qui est correct.

Cependant, 23 % des étudiants (N=57) nient l'existence d'interférences: «*disparition d'interférence*». Leurs justifications (N = 45) laissent penser qu'ils considèrent les sources secondaires comme incohérentes, explicitement ou non. 22 % signalent un changement du contraste, d'autres (11 %) qu'«*il n'y a pas de cohérence*», que «*comme  $S'_1$  et  $S'_2$  sont larges, on ne peut pas voir l'interférence car cela revient à additionner des figures d'interférences décalées*».

Si 57 % des étudiants (N = 57) répondent qu'il existe des interférences, tous ne donnent pas une justification correcte. En effet, il est dit que «*la position des franges change*» (18 %, N = 57) ou que «*la figure est plus intense*» (16 %, N = 57). Il apparaît ici une association source étendue-franges plus lumineuses.

23 % des étudiants fournissent des justifications que l'on peut considérer comme correctes en soulignant la présence de la diffraction: «*les trous ne sont plus ponctuels dans ce cas on ne peut pas négliger le phénomène de diffraction. On aura dans l'expression de l'intensité un terme d'interférence et un terme de diffraction*». Il est cependant à noter qu'un seul mentionne une modification de la largeur de la zone d'interférences.

#### **Nombre de sources primaires (situation 4)**

À la quatrième question mettant en jeu deux sources primaires ponctuelles et non plus une, un petit nombre d'étudiants (8 %, N = 57) répondent qu'il n'y a pas de changement. Ces étudiants considèrent deux figures d'interférences mais ne semblent pas considérer qu'elles sont décalées: «*on va avoir deux systèmes de franges, l'un par rapport à S et l'autre à S'*», «*chaque source va donner ces franges sombres et brillantes*».

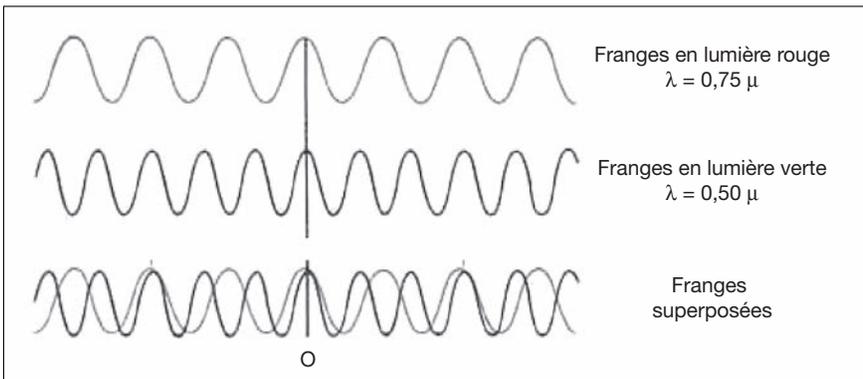
Un nombre important d'étudiants répondent correctement à savoir que la figure d'interférences est modifiée (92 %, N = 57). Si 61 % des justifications données sont compatibles avec l'utilisation d'une règle de superposition des figures d'interférences produites par chaque source ponctuelle, seuls 25 % des étudiants l'explicitent en disant que «*les intensités de S et S' s'additionnent*» (20 %), qu'«*il y a superposition de plusieurs figures d'interférences*» (5 %). Pour les autres, l'utilisation de cette règle reste implicite: 27 % des étudiants signalent uniquement un changement de contraste et 9 % que «*la luminosité est plus grande*».

Soulignons qu'un nombre non négligeable d'étudiants (30 %) mentionnent uniquement un déplacement des franges. Ces réponses laissent penser que les étudiants se sont focalisés uniquement sur la source supplémentaire.

## ***Le principe de superposition des ondes en lumière polychromatique***

### **Source primaire émettant deux radiations monochromatiques**

Dans le questionnaire demandant quelles sont les modifications de la figure observée sur un écran lorsqu'une caractéristique de la situation de référence est modifiée, nous avons proposé une question mettant en jeu non plus une source primaire ponctuelle émettant une lumière monochromatique «rouge» mais une source ponctuelle émettant deux radiations monochromatiques, une «rouge» et une «verte». Avec ce type d'éclairage, nous observons sur l'écran une frange centrale jaune encadrée d'une frange sombre, puis de quelques franges jaunes bordées de vert et rouge, puis de jaune. Pour expliquer cela, on considère que chaque radiation donne sa figure d'interférences et que la figure observée sur l'écran résulte de la superposition d'une figure aux franges brillantes rouges et d'une figure aux franges brillantes vertes. Ces deux figures n'ayant pas le même interfrange, seul les franges centrales des figures coïncident : l'œil percevant jaune la superposition du rouge et du vert, la frange centrale paraît jaune. Près du centre le décalage est petit, si bien que des franges sombres et jaunes sont observées mais elles sont accompagnées de franges rouges et vertes (encadré 6).



**Encadré 6 • Superposition des franges vertes et des franges rouges (Fontaine et al. 1967, p. 197)**

Une majorité d'étudiants (84 %, N = 76) répond que la figure d'interférences observée sur l'écran est différente de celle de la situation de référence. 41 % des étudiants mentionnent une modification de la couleur des franges, 54 % d'une caractéristique géométrique et 31 % d'une caractéristique énergétique. Seulement 28 % des étudiants précisent la modification de couleur des franges.

34 % des étudiants considèrent les figures d'interférences des deux radiations. Parmi eux, nous trouvons les 22 % d'étudiants qui disent que les franges sont rouges et vertes « *les franges sont rouges et vertes* ». Une partie de ces étudiants (16 %) semblent penser que les figures associées à chaque radiation sont juste intercalées: il y a « *deux séries de franges décalées* » ou « *deux systèmes de franges* ». Les autres (18 %) semblent considérer aussi un effet résultant. 4 étudiants utilisent une règle d'addition des intensités: « *les intensités s'ajoutent* ». 2 étudiants tiennent compte de l'effet perceptif: « *il y a des franges irisées, la frange centrale est jaune et entourée de franges irisées rouges et vertes* ». Pour les autres, l'addition des intensités est implicite: « *disparition des franges, changement du contraste et observation de franges irisées* ».

33 % des étudiants semblent se focaliser sur la figure d'interférences de la radiation rajoutée par rapport à la situation de référence: « *interférence entre la même couleur (qui est la couleur verte)* » ou « *écartement change car il dépend de la longueur d'onde* ». Parmi eux, nous trouvons les 3 % d'étudiants qui disent que les franges sont vertes. On retrouve ici un type de raisonnement voisin de celui obtenu dans le cas des trous d'Young éclairés par deux sources ponctuelles.

Il est à noter que 16 % des étudiants ne répondent pas et que 3 % des étudiants envisagent un effet global en disant que les franges sont jaunes.

### **Sources secondaires émettant deux radiations monochromatiques différentes**

Pour explorer cette question, nous avons proposé aux étudiants le dispositif des trous d'Young éclairé par une source ponctuelle de lumière blanche et indiqué qu'un filtre rouge était placé devant un trou et un filtre vert devant l'autre. Les lumières émises par les trous sont incohérentes. Il n'y a pas de franges d'interférences sur l'écran. Observé à l'œil, celui-ci paraît jaune.

Si 40 % (N = 65) des étudiants disent qu'il n'y a pas d'interférences, un grand nombre (49 %) disent qu'il y en a. Peu de justifications accompagnent les réponses correctes: elles font appel au concept de *cohérence* sans mentionner de quel type de cohérence il s'agit (7 %).

Parmi les 49 % d'étudiants qui donnent une réponse incorrecte, 39 % semblent considérer que la figure observée sur l'écran est la superposition de deux figures d'interférences: « *chaque longueur d'onde va donner son propre système d'interférence* ». Ces étudiants ne reconnaissent pas que les sources secondaires sont incohérentes. Tout se passe pour eux comme si la source primaire émettait deux radiations monochromatiques ou comme si chaque trou pouvait produire sa propre figure d'interférences. Une partie d'entre eux (24 %) semblent utiliser une

règle d'addition des intensités des figures d'interférences tout en tenant compte du récepteur œil en disant qu'il existe des franges «jaunes». Pour les autres (15 %), les franges sont «vertes et rouges». La question se pose de savoir s'ils utilisent implicitement une règle d'addition des intensités sans tenir compte du récepteur œil ou bien s'ils ne l'utilisent pas en considérant deux figures intercalées.

## 4 DISCUSSION

### 4.1 Le modèle du raisonnement des étudiants

Nous pouvons donner sens aux résultats que nous venons de présenter à l'aide d'un modèle de raisonnement, c'est-à-dire d'une description organisée et prédictive des principales tendances de raisonnement observées. Ces tendances sont interdépendantes et au nombre de quatre.

La première tendance de raisonnement, spécifique des interférences lumineuses, concerne leurs conditions d'obtention. Les étudiants interrogés savent qu'il est nécessaire d'avoir deux sources pour avoir des interférences. Cependant, il n'est pas nécessaire pour eux qu'elles soient obtenues à l'aide d'un dispositif interférentiel: il suffit qu'elles soient ponctuelles, de préférence identiques. Par contre, pour eux, il est nécessaire que les sources soient en phase: deux sources en opposition de phase ne peuvent pas produire des interférences. Dans le cas d'une source primaire monochromatique non ponctuelle, les étudiants envisagent une diminution du contraste et une disparition des franges, ou bien une augmentation de l'intensité des franges. Les étudiants ont des difficultés à identifier le degré de cohérence des sources secondaires. Ainsi, des sources secondaires étendues pourtant éclairées par une source monochromatique ponctuelle sont incohérentes. Deux sources secondaires émettant pourtant des lumières de fréquences différentes sont partiellement cohérentes.

La seconde tendance de raisonnement porte sur l'explication de l'existence de franges brillantes et sombres. Les étudiants n'utilisent pas le principe de superposition des ondes et les concepts de phase et déphasage. En effet, pour eux, les interférences ne résultent pas de la «combinaison» en un point donné de l'espace de deux ondes créées au niveau du dispositif interférentiel, ondes dont le déphasage dépend du point de l'espace considéré et dont l'intensité n'est pas modulée. Ils semblent suivre l'onde incidente depuis la source jusqu'au dispositif, considérer que le dispositif crée une onde modulée en intensité, et la suivre du dispositif à l'écran. Deux conceptions se manifestent. Dans l'une, l'onde modulée qui

se propage depuis le dispositif interférentiel est la superposition de deux ondes modulées. Dans l'autre, l'onde modulée qui se propage depuis le dispositif interférentiel est l'onde incidente modifiée. Dans les deux, le dispositif est une «boite noire» qui a pour fonction de moduler l'onde. La première conception rejoint celle dégagée par Ambrose *et al.* (1999) dans le cas des fentes d'Young : les étudiants utilisent une règle d'addition des intensités spécifique des situations d'optique géométrique classique pour des ondes modulées en intensité caractéristiques des situations ondulatoires. La seconde conception est à rapprocher de celle mise en évidence par Maurines (1997), Colin et Viennot (2000) dans le cas de la diffraction par une fente : les étudiants ne décomposent par l'onde se propageant derrière le dispositif en ondes élémentaires cohérentes. Leur raisonnement est de ce fait analogue à celui utilisé en optique géométrique classique.

Si la première conception ne se rencontre pas sur les résultats obtenus à la question portant sur l'effet de la suppression d'un trou dans le dispositif d'Young, elle apparaît sur les résultats obtenus à la question portant sur la figure d'interférences produites par trois trous : la figure d'interférences est comprise par certains étudiants comme la superposition des figures produites par chaque trou. Il semble que pour certains étudiants, la situation à deux sources soit la situation prototypique d'interférences si bien qu'ils tentent de s'y ramener : la figure d'interférences obtenue avec trois trous est ainsi conçue comme la superposition de figures produites par deux sources prises deux à deux, ou bien comme la superposition de la figure produite par deux trous et de la figure produite par un trou.

Comme nous l'avons déjà signalé, la conception consistant à penser la figure d'interférences comme la superposition de deux figures se rencontre fréquemment chez les étudiants interrogés par Ambrose *et al.* (1999) à propos de l'effet de la suppression d'une fente dans le dispositif d'Young. Une étude supplémentaire serait nécessaire pour comprendre pourquoi nous ne l'avons pas observé dans le cas de la suppression d'un trou d'Young. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées. Elle pourrait provenir de la situation choisie. Il est certainement plus difficile pour les étudiants de dissocier les phénomènes de diffraction et d'interférences dans le cas des fentes d'Young car les figures ont la même symétrie (elles sont toutes les deux constituées de franges rectilignes), ce qui n'est pas le cas des trous d'Young (les franges d'interférences sont rectilignes et celles de diffraction circulaires). Elle pourrait provenir de la méthodologie suivie. Nous n'avons interrogé les étudiants que sur cette situation des trous d'Young alors qu'Ambrose *et al.* ont auparavant questionné les étudiants sur la diffraction par une fente. Elle pourrait aussi provenir de l'enseignement reçu. En effet, un regard sur les manuels montre que le dispositif d'Young peut être étudié dans le chapitre sur les interférences ou dans celui sur la diffraction. Cela correspond à deux façons différentes

de nommer ce qui se passe avec ce dispositif et deux regards différents. Nous pouvons rencontrer les interférences par les fentes d'Young (l'accent est mis sur la nécessité d'avoir deux faisceaux) mais aussi la diffraction par les fentes d'Young (l'accent est mis sur la modification de l'onde incidente). Cela peut sans doute induire des visions différentes du phénomène d'interférences par le dispositif d'Young.

Si la conception consistant à suivre l'onde incidente depuis la source et à considérer le dispositif comme une boîte noire qui module l'intensité de l'onde se rencontre peu sur les résultats que nous avons présentés ici, elle se manifeste fréquemment dans les réponses fournies aux questionnaires sur les lames minces. Cependant, on peut se demander si le fait que les étudiants ne font pas appel au concept de différence de marche entre deux ondes pour justifier leurs réponses dans les questionnaires sur les trous d'Young n'en est pas une conséquence. On peut aussi se demander si cette conception n'est pas à l'origine des réponses obtenues par Ambrose *et al.* (1999) : les étudiants interrogés à propos de la façon dont varie l'état d'interférences en un point donné de l'espace en fonction de la position de ce point, raisonnent sur la direction moyenne « sources-point d'observation » et non sur la différence des distances séparant les sources et le point d'observation.

La troisième tendance qui se dégage concerne le raisonnement à plusieurs variables. Les étudiants ont des difficultés à dégager les grandeurs physiques pertinentes pour l'étude d'une situation donnée et à établir des liens corrects entre elles. Ils tendent à se focaliser sur un aspect de la situation étudiée et sur un nombre restreint de grandeurs. Ainsi, lorsque la source primaire est constituée de deux sources ponctuelles ou émet deux radiations monochromatiques, les étudiants semblent se focaliser sur l'une d'elles uniquement. Ils tendent aussi à se centrer sur la source : la phase en un point de l'espace ne semble pas dépendre de la distance parcourue par l'onde entre la source et ce point mais être égale à la phase de la source si bien qu'il n'y a pas d'interférences quand les sources secondaires sont en opposition de phase. Les questions portant sur les trous d'Young montrent que les étudiants ont des difficultés à faire un lien correct entre les caractéristiques de la situation d'interférences et de la figure d'interférences. On retrouve ici des difficultés analogues à celles mises en évidence par Wosilait *et al.* (1999) dans le cas des fentes Young et de l'effet d'une modification de l'écartement des fentes et de leurs largeurs.

La quatrième tendance de raisonnement concerne le caractère abstrait des concepts et principes. Les étudiants tendent à privilégier des indices perceptibles. Alors que les programmes d'enseignement accordent une grande place aux conditions d'obtention des interférences lumineuses liées à la cohérence temporelle de la lumière et à leur interprétation, les

étudiants privilégient les critères de cohérence spatiale associée à des grandeurs d'espace facilement identifiables au détriment des critères de cohérence temporelle. Ils ne font pas appel au modèle du train d'onde et à leur durée pour expliquer la différence de comportement des sources de lumière mais à l'étendue des sources.

Ces deux dernières tendances de raisonnement ne sont pas spécifiques des interférences lumineuses. Elles se rencontrent pour d'autres ondes et d'autres situations (Maurines, 1999, 2003), et plus généralement dans d'autres domaines de la physique (Viennot, 1996). Selon la situation présentée, la question posée et la formulation choisie, un étudiant se centrera sur tel ou tel aspect et activera l'une ou l'autre des tendances de raisonnement spécifiques des interférences lumineuses.

## **4.2 Quelques remarques sur les manuels d'enseignement et propositions pédagogiques**

L'examen des manuels d'enseignement révèle que les approches choisies sont diverses et ne facilitent pas l'apprentissage des interférences lumineuses. Ainsi, en ce qui concerne la définition des interférences lumineuses, certains manuels n'utilisent qu'un registre mathématique et ne s'appuient sur aucune situation expérimentale (Charmont, 2000). Comme donner du sens en physique suppose d'établir des liens entre les phénomènes et les modèles, il nous semble préférable de partir d'une situation expérimentale.

En ce qui concerne le dispositif d'Young, il nous semble que le dispositif des trous n'est pas à négliger même s'il ne peut pas donner lieu à des calculs simples. Il permet de mettre beaucoup plus facilement en évidence la différence entre les franges de diffraction et d'interférences que les fentes d'Young, et donc de montrer que la figure d'interférences résulte bien de la superposition cohérente des ondes issues des deux trous.

En ce qui concerne les conditions d'obtention des interférences, certains manuels ne les mentionnent pas lors du premier cours (Quaranta, 1998). Le phénomène est étudié complètement dans le cas de la cohérence totale et ce n'est qu'ensuite que les conditions d'obtention sont abordées. Comme cela pourrait renforcer l'idée qu'il suffit d'avoir deux sources ponctuelles monochromatiques pour avoir des interférences, il nous semble préférable d'accompagner la définition des interférences lumineuses de la donnée des conditions d'obtention. Il nous semble aussi souhaitable d'utiliser différentes conditions expérimentales et de décrire à chaque fois qualitativement la figure d'interférences. Cela permettrait de dégager les différentes grandeurs physiques intervenant dans une situation donnée et les liens qu'elles entretiennent ou n'entretiennent pas.

En ce qui concerne l'interprétation des conditions d'obtention, certains manuels ne mentionnent pas le modèle du train d'onde (Martin, 1998). La plupart de ceux qui l'introduisent ne le font pas fonctionner pour expliquer pourquoi l'état d'interférences en un point donné de l'espace est constructif ou destructif. Compte tenu des résultats présentés ici et d'autres obtenus par ailleurs, cela nous semble regrettable car faire fonctionner ce modèle pourrait aider à donner du sens au fait que deux sources indépendantes ne peuvent produire des interférences.

Terminons en disant que les différents questionnaires que nous avons élaborés pour notre recherche peuvent aider à définir un contenu d'enseignement. Ils proposent des questions pouvant être posées à différents moments de l'apprentissage, en cours, en séances de travaux pratiques ou de travaux dirigés. Il en est ainsi de celle sur les sources secondaires en opposition de phase ou émettant des radiations différentes.

## CONCLUSION

Le modèle de raisonnement que nous avançons permet de rendre compte des résultats obtenus pour les deux thèmes sur lesquels porte cet article. Soulignons qu'il prend tout son sens lorsque l'ensemble de nos résultats est considéré. Les différentes tendances de raisonnement que nous venons de présenter se manifestent en effet différemment selon les thèmes explorés. Dans l'attente de leur publication, le lecteur intéressé par nos autres résultats, en particulier par ceux portant sur les dispositifs interférentiels qui mettent le mieux en évidence que les interférences sont créées au niveau du dispositif, peut d'ores et déjà consulter la synthèse de nos travaux (Romdhane, 2007).

Terminons en disant que ce modèle de raisonnement a été obtenu à partir de réponses fournies par une population hétérogène à des questions qualitatives portant sur des situations d'interférences à deux ondes. La question se pose donc d'explorer ses limites, notamment en élargissant le domaine d'étude à d'autres types d'interférences et en rendant possible une étude comparative systématique des résultats en fonction de l'enseignement suivi.

## BIBLIOGRAPHIE

- AMBROSE B.S., SCHAFFER P.S., STEINBERG R.N. & MC DERMOTT L. (1999). An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double slit-interference. *American Journal of Physics*, vol. 67, n° 2, p. 146-155.
- CHARMONT P. (2000). *Leçons de physique*. Paris, Dunod.
- CLOSSET J.L. & VIENNOT L. (1984). Contribution du raisonnement naturel en physique. In B. Schiele ans C. Belisle (eds) *Les représentations. Communication-information*, vol. 6, n° 2/3, p. 399-420.
- COLIN P. & VIENNOT L. (2000). Les difficultés d'étudiants post-bac pour une conceptualisation cohérente de la diffraction et de l'image optique. *Didaskalia*, n° 17, p. 29-54.
- DUFFAIT R. (1997). *Expériences d'optique, agrégation de science physique*. Paris, Bréal.
- FONTAINE G. et al., (1967). *La physique au baccalauréat CDE*. Paris, Nathan.
- GOLDBERG F.M. & 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.
- HECHT E. (2002). *Optics*. United States of America, Addison-Wesley.
- KAMINSKI W. (1989). Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, p. 973-996.
- LINDER C. & ERICKSON G. (1989). A study of tertiary students' conceptualizations of sound. *International Journal of Science Education*, n° 11, special issue, p. 491-501.
- MARTIN G. (1998). *Panorama sur l'optique; de l'optique géométrique à l'optique quantique*. Paris, Nathan.
- MAURINES L. & SALTIEL E. (1988). Mécanique spontanée du signal. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 707, p. 1023-1041.
- MAURINES L. (1997). Raisonnement spontané sur la diffraction. In *actes du sixième séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques*, Lyon, p. 77-95.
- MAURINES L. (1998). Les élèves et la propagation des signaux sonores. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 800, p. 1-22.
- MAURINES L. (1999). La propagation des ondes en dimension 3 : analyse des difficultés des étudiants quant au modèle géométrico-ondulatoire. *Didaskalia*, n° 15, p. 87-122.
- MAURINES L. (2000). Les étudiants, la diffraction de Fraunhofer et la formation des images en éclairage cohérent. *Didaskalia*, n° 17, p. 55-99.
- MAURINES L. (2003). Analyse des difficultés des étudiants à propos des concepts de phase et de surface d'onde, du principe de Huygens. *Didaskalia*, n° 22, p. 9-39.
- MINSTRELL J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R. Duit, F. Goldberg and H. Niedderer (éd.) *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel, IPN, p. 110-128.
- QUARANTA L. (1998). *Introduction à l'optique*. Paris, Masson.
- ROMDHANE I. (2001). *Conceptions des étudiants tunisiens sur la notion de déphasage: Étude historique et didactique*. Mémoire de DEA, Université de Tunis.
- ROMDHANE I. (2007). *La cohérence de la lumière et les interférences lumineuses. Raisonnements des étudiants et difficultés d'ordre historique*. Thèse de doctorat. Université Paris 7.
- ROMDHANE I. & MAURINES L. (2003). Les étudiants et les interférences lumineuses : résultats d'une enquête exploratoire. In *3<sup>es</sup> Rencontres scientifiques de l'ARDIST*, Toulouse, p. 165-172.

ROMDHANE I. & MAURINES L. (2005). La cohérence de la lumière et les interférences : Histoire des idées et difficultés des étudiants. In *4<sup>es</sup> Rencontres de l'ARDIST*, Lyon, p. 309-316.

SINGH A. & BUTLER P.H. (1990). Refraction: conception and knowledge structure. *International Journal of Science Education*, vol. 12, n° 4, p. 492-442.

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

WITTMANN M. C., STEINBERG R.N. & REDISH E.F. (1999). Making sense of how students make sense of mechanical waves. *The Physics Teacher*, n° 37, p. 15-21.

WOSILAIT K., HERON P.R., SCHAFFER P.S. & MC DERMOTT L.C. (1999). Addressing student difficulties in applying a wave model to the interference and diffraction of light. *Physics Education Research, American Journal of Physics*. Supplément, vol. 67, n° 7, p. S5-S15.

## **« Créationnisme scientifique » et « intelligent design » *versus* la théorie scientifique de l'évolution**

**“Scientific creationism” and “intelligent design”  
versus the scientific theory of evolution**

**« Creacionismo científico » y « intelligent  
design » cara y cruz de la teoría científica de la  
evolución.**

**« Wissenschaftliches Kreationismus » und  
« intelligent design » *versus* wissenschaftliche  
Entwicklungstheorie.**

**Guy RUMELHARD**

UMR STEF INRP/ENS CACHAN

Le « créationnisme scientifique » et l' « intelligent design » sont des doctrines typiquement américaines liées à un groupe de fondamentalistes protestants, mais d'autres religions monothéistes tentent de suivre le même chemin. Il s'agissait initialement de rejeter la théorie darwinienne puis de concurrencer la théorie de l'évolution par une autre théorie tirée d'une lecture littérale de la Bible. Actuellement il s'agit de trouver une finalité dans la complexité et l'harmonie du fonctionnement des vivants. Ce n'est pas uniquement la lutte d'obscurantistes contre les « lumières » apportées

par la science, mais d'une idéologie politique comme Dominique Lecourt l'a clairement établi<sup>1</sup>. S'il s'agit d'une idéologie politique elle se combat politiquement c'est-à-dire en étant vigilant sur le principe de laïcité de l'état qui risque en permanence d'être contourné ou remis en cause. Malgré le terme de « scientifique » accolé à créationnisme, les textes élaborés sous ce titre constituent une doctrine religieuse. Reste à montrer qu'il s'agit bien d'une *doctrine* car elle prend les aspects d'une *fausse science*. Si l'on veut distinguer science et doctrines religieuses ou idéologies politiques on peut rechercher des propriétés ou mieux, des *critères de scientificité* :

Premier axe de réflexion : le travail sur les théories ou les hypothèses, consiste à les soumettre à l'épreuve des faits à travers des observations et des expérimentations. On peut cependant distinguer :

– Un travail positif consistant à « prouver » de manière absolue, ceci se traduit pédagogiquement par les « expériences dites de mise en évidence » qui sont toujours contestables,

– Un travail négatif consistant :

- à réfuter les explications avancées, ou, le plus souvent, à choisir entre deux hypothèses,
- à rechercher des écarts entre la théorie (ou le modèle) et les faits, pour rectifier la théorie ou rechercher d'autres faits.

Second axe de réflexion : le travail scientifique est principalement orienté vers la fécondité des concepts.

Les doctrines au contraire cherchent à vérifier des certitudes préalablement données, sinon révélées, en leur apportant la sanction de l'absolu. Elles sont figées, stériles, impossibles à remettre en cause, jamais ouvertes sur un développement ou une anticipation. En un mot elles ne rencontrent pas le réel, elles n'ont pas d'histoire.

## 1 UN TRIBUNAL ÉPISTÉMOLOGIQUE : LA RÉFUTATION

La branche de la philosophie qui s'intéresse à la « philosophie des sciences<sup>2</sup> » et se nomme plus précisément « épistémologie » a souvent prétendu s'ériger en « tribunal de la science » ce qui l'a conduit à rechercher des « critères » de jugement de la validité d'un énoncé qui se veut scientifique. Pour définir ce qui est scientifique et le distinguer

---

(1) LECOURT Dominique (1992) *L'Amérique entre la bible et Darwin*. Paris : PUF

(2) LECOURT Dominique (2001) *La philosophie des sciences*. Paris : PUF Que sais-je ? n° 3624.

de ce qui est dogmatique, depuis Kant et même avant lui on a recherché plusieurs critères de scientificité qui permettent de trancher devant une sorte de *tribunal épistémologique*.

La critique principale que l'on peut formuler à l'encontre de ce type de travail réside dans le fait de chercher à définir des critères *a priori* donc de manière logique et non historique, *extérieure* et *antérieure* au travail d'un savant donné, appliqué à un objet naturel donné, et qui soient applicables de manière éternelle et universelle à toutes les sciences : physique, chimique, biologique, géologique passées, actuelles et à venir. Ceci nous projette en dehors de l'histoire concrète d'une science donnée qui tente de définir elle-même ses critères de validité au fur et à mesure de ses avancées. Le but final de cette critériologie est d'exclure les pseudosciences et les idéologies qui se donnent pour science, mais aussi certaines disciplines telles le marxisme et la psychanalyse. Le plus célèbre de ces critères se nomme critère de réfutation.

Le critère de réfutation énoncé initialement par Sir Karl Popper (le mot falsifiability a été initialement mal traduit par falsification, mot qui implique l'idée de faussaire) et tel qu'il est ordinairement compris actuellement, constitue un bon exemple de ce type supposé de critère de scientificité. K. Popper<sup>3</sup> a raison de souligner, mais il n'est ni le premier ni le seul à le faire, qu'une théorie ne saurait être tenue pour scientifique si elle ne s'expose pas au risque d'être réfutée par une épreuve expérimentale singulière déductible de ses propres prémisses.

Ce raisonnement négatif implique qu'il y a plus de vérité dans la réfutation, que dans la preuve positive. Les faits sont simplement « en accord » avec l'hypothèse. On peut toujours supposer que l'on trouvera un jour une réfutation.

Mais ce critère ne saurait s'appliquer comme critère unique, absolu, imparable, à n'importe quelle étape du travail des scientifiques ni dans n'importe quel domaine de la science. Appliqué aux sciences humaines et à la psychanalyse, ce critère produit une coupure nette. Appliqué à la théorie et aux hypothèses sur les mécanismes de l'évolution il conduisait à l'époque et conduit encore actuellement à en rejeter des pans entiers comme non scientifique. Toutefois Karl Popper fut épouvanté quand il a vu les créationnistes s'emparer de ce critère pour défendre leurs positions et il a dû modifier les siennes. Il admet ainsi « que l'influence révolutionnaire de Darwin sur notre vision du monde a été au moins aussi importante, sinon aussi profonde que celle de Newton. Car la théorie darwinienne de la sélection naturelle a montré qu'il était possible de réduire la téléologie à la causalité, en expliquant en termes purement physiques l'existence d'un dessein et d'un projet dans le monde ». D'où Sir Karl tire cette conclusion :

---

(3) POPPER Karl (1973). *La logique de la découverte scientifique*. (trad). Paris : Payot.

« Darwin a montré que nous sommes tous parfaitement libres d'utiliser des schémas téléologiques d'explication en biologie – même ceux qui croient que toute explication devrait être causale. Car il a montré précisément que, en principe, toute explication téléologique particulière peut un jour être réduite à, ou plus tard expliquée par, une explication causale ». Popper touche bien ici la difficulté radicale de la pensée de Darwin.

Yvette Conry<sup>4</sup> (1981) fait remarquer que si ce critère de réfutation est séduisant, il est paradoxal. Il énonce comme règle irréfutable (!) que l'on doit pouvoir réfuter. L'exemple classique de ces positions paradoxales consiste dans la proposition « tout est relatif » qui se présente comme un absolu ! D'une manière plus large, tout critère de ce type qui peut s'énoncer avant même que le scientifique commence à travailler ignore le temps, le lieu et les circonstances. Étant hors du temps et de l'espace il est en quelque sorte *métaphysique* c'est-à-dire en dehors du réel.

On peut bien évidemment le conserver comme critère opératoire possible parmi d'autres à un moment donné du travail scientifique, dans un contexte précis. Une proposition scientifique doit être réfutable, mais elle ne l'est pas *nécessairement* immédiatement dès son énoncé. Les formes de la réfutation diffèrent d'une recherche à l'autre, et elle n'est pas toujours absolue. La pensée scientifique élabore elle-même et légitime ses types de rationalité au fur et à mesure de son travail. Nous allons en voir plusieurs exemples dans lesquels la réfutation prend des chemins différents. Le cas des prions, de la génétique mendélienne, des problèmes concernant l'origine de la vie en sont des exemples contrastés. Précisons ce dernier exemple. Si l'évolution du monde vivant est une histoire contingente, elle se déroule aussi dans un temps très long et irréversible. Si l'on pouvait reconstituer expérimentalement les conditions initiales de l'origine de la vie sur Terre, les étapes ne seraient pas les mêmes. On ne peut que les imaginer en attendant d'aller voir sur d'autres planètes !

De plus, en statistique, la logique du raisonnement n'est plus la même. Tester une hypothèse ce n'est pas évaluer la vraisemblance de l'hypothèse en fonction des données, mais la vraisemblance des données en fonction de l'hypothèse. Et l'hypothèse que l'on teste quand on veut éprouver l'efficacité d'un traitement, c'est l'hypothèse de son inefficacité, la fameuse hypothèse nulle. La réfutation des modèles probabilistes se fait toujours « au risque 5 % ».

Ceci étant dit l'une des hypothèses de Darwin, celle qu'il nomme *l'hypothèse de sélection naturelle* est testable c'est-à-dire réfutable. On peut espérer répéter tel ou tel mécanisme partiel de mutation, de dérive génétique ou de sélection dans des conditions contrôlées au laboratoire

---

(4) CONRY, Yvette, (1981). Organisme et organisation : de Darwin à la génétique des populations. *Revue de synthèse*. Juillet -Décembre p. 291- 330.

et c'est ce qui a été fait à partir de 1935 par Teissier et Lhéritier à l'aide de leurs cages à population sur les *Drosophiles*.

Par contre le *principe de parcimonie* utilisé par l'école cladiste fondée par W. Hennig et qui propose des classifications « évolutives » n'est pas testable<sup>5</sup>. C'est un principe de cohérence interne, une condition de possibilité du raisonnement.

## 2 LE TRAVAIL SCIENTIFIQUE RECHERCHE LA FÉCONDITÉ DES CONCEPTS ET NON PAS LA VÉRITÉ ABSOLUE PROUVÉE DÉFINITIVEMENT

La formation du concept de *Prions*<sup>6</sup> montre que, dans le travail scientifique, l'accent est mis sur la dynamique du travail, sur le fait qu'une idée est féconde, qu'elle est « moteur de recherche » et non pas d'abord sur le fait qu'elle est « vraie » c'est-à-dire « prouvée », c'est-à-dire soumise à l'épreuve expérimentale, en attendant d'être complétée et rectifiée. En 1997 le Prix Nobel de physiologie et de médecine est attribué au Professeur Stanley Prusiner, de l'université de Californie à San Francisco, pour ses contributions à l'identification de l'agent infectieux responsable des encéphalopathies spongiformes transmissibles (EST). Le cas de la « vache folle » (Encéphalopathie spongiforme bovine ESB) est le plus connu, mais il y a d'autres maladies de même type. Le commentateur de la revue *Nature* ajoute : « *l'attribution du prix Nobel a été une surprise, car les idées de Prusiner restent non prouvées* »<sup>7</sup>. Quelles sont ces idées : l'agent des EST est une protéine seule. Il existe dans l'organisme sain une protéine normale et la seule différence entre celle-ci et l'agent pathogène est une différence de conformation, autrement dit de forme spatiale. De plus la forme pathogène favorise la transconformation de la protéine normale en protéine pathogène. Voilà la contagion. Cette protéine pathologique n'est plus détruite par les enzymes qui agissent précisément par reconnaissance de forme et elle s'accumule dans certaines cellules. Voilà la raison de la maladie. La modification de forme est soit spontanée, soit due à une mutation, soit à un contact avec une protéine déjà transformée. Pour plusieurs scientifiques l'hypothèse de Prusiner violerait

(5) LE GUYADER, H., (1987) Taxinomie et biologie théorique. In *Biologie théorique*. Paris : éd du CNRS 167-175.

(6) SCHWARTZ Maxime (2001) *Comment les vaches sont devenues folles*. Odile Jacob

(7) MORANGE Michel (2002) Conférencier invité au Cours du Collège de France d'Anne Fagot Largeault. 16 janvier : *Niveau de preuve-Histoire du prion*. MORANGE Michel (1998) *La part des gènes*. Paris : Odile Jacob p. 50-52

les dogmes de la biologie moléculaire. En effet la multiplication suppose un être vivant contenant de l'ADN ou de l'ARN (bactérie, virus, champignon, etc.). De plus on a longtemps admis que la forme spatiale d'une protéine est unique et ne dépend que de la séquence linéaire des acides aminés. L'article écrit par Prusiner dans la revue *Pour la Science*<sup>8</sup> en 1995 est accompagné d'un commentaire de Dominique Dormont et Jean-Philippe Deslys qui précise tous les éléments non résolus de cette « énigme ». On ignore le rôle de la protéine PrP chez les individus sains. La nature précise des agents responsables que l'on désigne par la périphrase « agents non conventionnels transmissibles ATNC » reste controversée. De plus, comme on a isolé huit agents infectieux, la nature exacte de ces différences reste controversée. S'agit-il de plusieurs types de repliement anormaux de la protéine, ou d'ADN protégé par la PrP anormale. Les mécanismes de ces repliements sont également controversés. La nature et les modalités de ces preuves à apporter qui relèvent de plusieurs disciplines différentes, expliquent en partie les raisons de ce délai. En 1999 dans l'article *Prion* du *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences* Michel Morange<sup>9</sup> précise que plusieurs modèles ont été proposés pour expliquer comment une protéine peut « insuffler » à d'autres protéines sa forme, mais aucun n'est encore démontré. Deux ans après le prix Nobel des questions importantes demeurent donc, et le modèle de la « protéine seule » reste très fragile. Cependant le concept de Prion est considéré comme une idée originale, faisant réfléchir et travailler, et c'est cela l'important qui justifie le prix Nobel. De plus si la forme d'une protéine peut provenir non d'une information génétique contenue dans un acide nucléique, mais d'une autre protéine, le rôle essentiel des acides nucléiques dans les phénomènes héréditaires est remis en cause. Un des dogmes de la biologie moléculaire est effectivement violé. L'hérédité protéique observée dans les maladies à prions est *une autre forme d'hérédité*, mais qui n'a pas connu le même succès évolutif que l'hérédité reposant sur les séquences d'acides nucléiques. Voilà une question beaucoup plus générale et beaucoup plus fondamentale qui est posée par ce concept.

Écoutons maintenant le physicien Max Planck : « La grande question n'est pas de savoir si telle idée est vraie ou fausse, pas même de savoir si elle a un sens nettement énonçable, mais bien plutôt de savoir si l'idée sera source d'un travail fécond »<sup>10</sup>. Avec Dominique Lecourt et à la suite de G. Bachelard et de G. Canguilhem, on peut se demander si ce n'est pas la *formation des concepts* qui doit accaparer l'attention, ainsi

---

(8) PRUSINER Stanley (1995) Les maladies à prions. *Pour la science* n° 209 p. 42-50.

(9) MORANGE Michel (1999) Prion In *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences* Paris : PUF p. 762-763.

(10) PLANCK M. *Initiation à la physique* p. 272.

que les processus de rectification et de coordination qui sont à l'œuvre dans la conceptualisation des phénomènes<sup>11</sup>.

La question des *origines de la vie* a donné lieu à de nombreuses spéculations. Toutefois c'est l'expérience originelle de Stanley Miller en 1953 qui a été *fondatrice* d'un ensemble de recherche sur la possibilité d'une « soupe prébiotique » ayant permis la synthèse des molécules élémentaires telle que les acides aminés, les sucres et les bases azotées<sup>12</sup>. Historiquement Melvin Calvin prétend avoir réalisé des expériences identiques en 1950 à Berkeley, mais le mélange de molécules qu'il utilisait comprenait entre autres CO et CO<sub>2</sub>. Miller travaille sur l'hypothèse de Harold Urey qui propose une atmosphère réductrice sans CO ni CO<sub>2</sub> et qui est le paradigme de l'époque. Cette expérience de Miller est réalisée avec un mélange d'eau, de méthane, d'ammoniac et d'hydrogène soumis à des décharges électriques. Il est à noter que la chimie prébiotique s'est développée pendant plusieurs décennies dans le cadre d'une hypothèse qui depuis a été remise en question mais qui a permis l'obtention d'un nombre considérable de données expérimentales. Il est également à noter que les manuels scolaires de terminale S reproduisent cette expérience originelle de Miller sans mentionner cette remise en cause, ni discuter ses conditions de validité. Ici encore la dynamique du travail prime sur l'exactitude et la permanence du résultat. En fait plusieurs questions épistémologiques peuvent se poser. Cette expérience réalise un *scénario possible* de l'origine de la vie, mais rien ne garantira jamais qu'il s'agit du scénario réel. Les traces fossiles pourraient apporter des précisions sur la réalité de cette origine, mais elles sont rares et difficiles à interpréter. De plus quand il s'agit de molécules fossiles, rien ne permet d'éliminer la possibilité de contaminations. De plus le monde vivant actuel a peut être été précédé d'autres mondes vivants disparus. Quel scénario tente-t-on de reproduire ? Autrement dit que signifie exactement réfuter une hypothèse sur la composition de l'atmosphère terrestre originelle ? C'est bien l'hypothèse d'une *génération spontanée* des premières molécules constituantes du vivant à partir de molécules très simples qui est rendue plausible. Voilà l'ouverture d'un champ de recherches qui conduit à son institutionnalisation (laboratoires, publications). On peut donc se dispenser de toute métaphysique et aborder la question scientifiquement. Voilà le moteur du travail. Mais nous sommes ici dans un domaine hybride entre

---

(11) LECOURT Dominique (2000) Entretien La Recherche n°330 p. 107-109.

(12) TIRARD Stéphane (1996) *Les travaux sur l'origine de la vie de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle jusqu'aux années soixante dix*. Thèse Université Denis Diderot Paris VII ; TIRARD Stéphane (1999) Origine de la vie In *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences* Paris : PUF ;

TIRARD Stéphane (2000) Les origines de la vie : un problème, des disciplines. *Aster* n° 30 p. 105-122 ;

TIRARD Stéphane (2000) *Les origines de la vie* In RUMELHARD Guy (éd.) *Les formes de causalité dans les sciences de la vie et de la Terre* Paris : INRP p. 107-123.

l'approche expérimentale et l'approche historique. Stéphane Tirard parle de « théorie-récit ». Les procédures de validation et de réfutation sont donc spécifiques.

En 1865 Mendel publie des travaux montrant que la transmission de certains caractères du pois se fait selon des proportions constantes. À l'époque cela a pu être considéré comme anecdotique. En fait il introduit une distinction conceptuelle entre le caractère observable et la présence de ce qui le détermine (Merkmal en allemand) au niveau cellulaire. Nous disons actuellement entre le phénotype et le génotype. Il introduit également un *modèle probabiliste*, celui de l'urne de Bernoulli, pour prévoir la répartition des caractères portés par les gamètes et leur recombinaison dans la descendance. *A posteriori* on comprend qu'il a ouvert un champ indéfini de travaux s'appuyant sur une méthode expérimentale rigoureuse faisant appel à une conception probabiliste du vivant<sup>13</sup>. Le modèle aléatoire de l'urne de Bernoulli est toujours au cœur des explications. De plus, depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, l'apport des statistiques précise que la confirmation ou la réfutation des hypothèses par les données expérimentales se fait désormais « au risque 5 % » de conclure à tort. La confirmation et la réfutation ne sont pas absolues. Nous reviendrons ci-dessous sur cette possibilité de réfutation expérimentale. L'explication mendélienne est ouverte aussi sur des rectifications qui la complètent ou la complexifient sans la remettre en cause totalement. Et ceci ne s'apprécie qu'*a posteriori*. On ne peut donc pas juger *a priori* de la fécondité d'un concept nouveau. C'est l'avenir d'un concept qui justifie sa valeur. Ce critère dynamique que l'on nomme également heuristique contredit l'idée même de critère, c'est-à-dire de rangement définitif dans des catégories cloisonnées intangibles.

Le concept de mutation est un autre exemple de la fécondité d'un concept. Il permet d'accroître les connaissances en provoquant des observations, des expériences, ou en intégrant des observations empiriques isolées. L'observation non préméditée de l'apparition brutale, sans cause apparente, d'un hêtre rouge dans une forêt d'Europe centrale au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle peut induire (raisonnement par induction) à définir la mutation comme une modification brusque, sans cause apparente, sans finalité apparente, immédiatement héréditaire. Le mot de mutation a alors un sens empirique. Il résulte d'une observation attentive de la nature, mais n'anticipe pas cette observation que rien ne laissait prévoir. Le véritable concept de mutation n'est pas seulement descriptif. L'expérimentation invite d'abord à tenter de provoquer l'apparition de mutations à l'aide de rayons X, puis des diverses radiations radioactives, ou de produits chimiques. C'est initialement le travail d'Hermann Muller qui applique les rayons X sur une population de drosophiles en 1927 et fait apparaître des mutations connues par ailleurs dans les populations sauvages ou élevées

(13) RUMELHARD Guy (1980) *Représentations et concepts de la génétique*. Thèse université Paris 7 Denis Diderot, publié sous le même titre en 1986. Bern : Peter Lang

au laboratoire et aussi des mutations nouvelles inconnues auparavant. Par la suite les concepts de la génétique moléculaire invitent à provoquer expérimentalement l'apparition de mutations non viables, non héréditaires, non visibles phénotypiquement. L'observation empirique s'arrête et attend, par contre, la théorie est motrice. Le concept de mutation désigne beaucoup plus qu'une observation empirique. Il est le concept de potentialités, de possibilités non encore réalisée dans la nature ou éliminées car non viables. Il change totalement de sens et surtout de fonction. Il dirige la recherche. Il devient également, par la suite, outil d'analyse en permettant de produire expérimentalement des suppressions ou des modifications de gènes, des mutations *knock out* par exemple. Voilà l'axe principal du travail scientifique : créer des « moteurs de recherche », créer des observations, révéler des potentialités. On comprend aussi que dans ce cas le concept est un « outil » à la fois au sens théorique et matériel du terme. Le concept de vie n'est pas le concept d'un objet observable, permanent, intangible, qui a des propriétés immuables.

Cette idée de fécondité est présente dans de nombreux domaines des sciences humaines. Cette idée de remise en mouvement, de relance du travail, cette insistance sur la dynamique et non pas sur l'état rejoint profondément :

– Le travail du psychanalyste qui tente de relancer la dynamique de la personne figée hors du temps. L'inconscient ignore le temps. Françoise Dolto explique son travail par trois métaphores, celles du scalpel qui sépare ce qui est fusionné, de l'aiguille qui recoud ce qui a été séparé, du ressort qui relance la dynamique.

– Le travail du pédagogue qui n'est pas de décrire et évaluer un état à un moment donné, ce qui risque toujours de catégoriser et de figer, mais de relancer en permanence la dynamique de travail de l'élève empêché par de nombreux obstacles.

– Le travail du philosophe qui consiste à ré-ouvrir les problèmes supposés clos et résolus.

### **3 À L'ÉPREUVE DES FAITS : RECHERCHER L'ÉCART PLUS QUE LA CONFORMITÉ AUX OBSERVATIONS**

De nombreux scientifiques prétendent se défendre en disant que l'évolution est un fait et non pas une théorie, ou encore, selon un raisonnement par induction à partir de faits empiriques, « les faits prouvent ».

Bachelard disait que les « faits doivent être vérifiés théoriquement ». Il serait aisé de citer de nombreuses observations qui ne signifient rien ou même qui n'ont pas été remarquées en absence de théorie. En géologie on savait depuis 30 ans avant 1968 que les foyers des séismes se disposaient en profondeur selon un plan oblique qui s'enfonce jusqu'à 400 km ou plus. Seul le concept de subduction confère une signification à cette disposition. Inversement le pédagogue s'appuie sur ce plan pour « rendre évidente » l'idée de subduction.

Les expériences d'Avery *et al.* réalisées en 1944 sont considérées actuellement comme la première démonstration du rôle de l'ADN dans la transformation de pneumocoques inoffensifs en pneumocoques virulents et citées comme tel dans les manuels. En fait jusqu'en 1952 on pouvait parler de l'ADN comme une cause chimique de mutation et non pas comme le principe génétique de la transformation, ce que fait un manuel scolaire célèbre<sup>14</sup>. Faits et théories ne sont pas séparables.

Le statisticien recherche si les données diffèrent de l'hypothèse nulle. De nombreuses modélisations aléatoires adoptent le même point de vue. Rechercher l'écart et non pas la conformité. L'analyse de l'ADN à l'aide des « chaînes de Markov » en est un bon exemple<sup>15</sup>. On peut modéliser certaines parties de l'ADN à l'aide de ces processus markoviens, mais ce sont les parties banales qui n'ont apparemment pas de fonction qui se conforment au modèle. L'intérêt réside dans les parties qui s'écartent de ces modèles et qui doivent donc avoir une fonction codante.

## **4 RECTIFIER LES CONNAISSANCES : IL N'Y A PAS DE VÉRITÉ PREMIÈRE NI DE VÉRITÉ DERNIÈRE. LES OBSTACLES : DES IDÉOLOGIES SCIENTIFIQUES. LE DOUBLE JEU DES IDÉOLOGIES**

Le scientifique doit en permanence se démarquer des « connaissances communes » à condition toutefois de distinguer les doctrines, les idéologies politiques et les idéologies scientifiques<sup>16</sup> (terme

---

(14) Cours Oubé (1952) Sciences naturelles. Sciences expérimentales. Classiques Hachette p. 657

(15) RUMELHARD Guy (2006) Analyse statistique de l'ADN. Modélisation probabiliste par les chaînes de Markov puis simulation et détection de biais. *Biologie-Géologie (APBG) n°3* p. 479-505

(16) CANGUILHEM Georges (1977) *Idéologie et rationalité*. Paris : Vrin

proposé par Canguilhem). Plus largement Dominique Lecourt proposait « de mettre en lumière les ressorts philosophiques de la pensée scientifique au travail ».

Gaston Bachelard a introduit en 1938<sup>17</sup> le concept d'*obstacle épistémologique*, ou de *contre pensée*. Les exigences de la vie et de l'action obligent à *anticiper* sur ce qu'il faudrait déjà connaître et avoir vérifié avec prudence et méfiance. Mais la connaissance commune se précipite au réel, tandis que la connaissance scientifique implique déplacement, détour, changement de point de vue. Canguilhem propose à partir de 1968 de nommer *idéologie scientifique* cette connaissance commune car elle entretient un rapport renversé au réel. Cette connaissance commune fait alors bien souvent obstacle à la connaissance scientifique dans la mesure où elle apporte des réponses immédiates à des questions mal posées. La connaissance scientifique progresse donc toujours par rectification de ce qui se présente comme un savoir et en occupe la place. Il n'y a pas de *connaissance première* établie sur un vide de connaissances.

Quelques mots sur le concept de régulation pour caractériser une microrupture inaperçue. Les manuels scolaires actuels emploient le mot réglé et non pas régulé pour désigner les mécanismes qui maintiennent par exemple la glycémie à une valeur comprise entre 0,8 et 1,2 g/l. Le cas du concept de régulation en est un bon exemple. Dans son historique du concept Canguilhem montre que deux conceptions théologiques s'affrontaient au XVIII<sup>e</sup> siècle. Ou bien Dieu a tout prévu par avance (position de Leibniz), ou bien Dieu doit en permanence rectifier des mécanismes qui se dégradent (position de Newton). Autrement dit tout est réglé par avance, ou bien tout est régulé c'est-à-dire qu'il se produit un écart détecté, et corrigé par une autre fonction. Voici une situation ou une référence implicite à Dieu, sans le mot, existe au cœur de notre enseignement. Abandonner l'idée d'une harmonie préétablie est une condition de possibilité de la formation du concept de régulation.

Mais le mot régulation est actuellement une métaphore technologique, et les métaphores jouent bien souvent un double jeu. Dans l'autre sens, en allant de la science à la société, le mot régulation est utilisé à des fins d'idéologie politique quand on parle de régulation économique par le marché par exemple.

Il n'y a pas non plus de *connaissance dernière* pour plusieurs raisons. La connaissance établie au laboratoire porte, en biologie, sur un individu ou de petites populations et sur des animaux mis dans des situations très particulières lors de l'expérimentation. L'extension à la totalité d'une population risque de faire apparaître des cas rares. Dans le cas de l'homme et des médicaments, on a mis par exemple en place une *pharmacovigilance* susceptible de révéler des situations inattendues. Chez

---

(17) BACHELARD Gaston (1938) *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin

l'homme également la connaissance médicale nécessairement réductrice peut se heurter à la résistance des individus qui ne se vivent pas comme un ensemble de mécanismes. La relation aux milieux variés et changeants, la très grande variabilité individuelle, l'intégration des mécanismes sont des sources permanentes de rectification des connaissances biologiques. Et la physiologie humaine est de manière indissociable, organique, psychologique et culturelle. Elle doit toujours être la physiologie de l'homme au travail, du sportif, du jeune enfant, du vieillard, du plaisir, des conditions de vie extrêmes, etc. sinon elle n'est que la physiologie du mammifère qui vit en nous. La connaissance biologique doit donc s'intégrer à la totalité de la culture humaine.

## **5 ARMER LES ENSEIGNANTS POUR OUVRIR LE DÉBAT**

Nous avons analysé quelques caractéristiques du travail des scientifiques de façon à permettre d'ouvrir et d'armer un débat avec les créationnistes. Il faut cependant se rappeler plusieurs points importants que nous venons de développer de manière brève :

- Les enseignants de SVT sont imprégnés d'une épistémologie soi-disant « spontanée » qui est en fait celle d'un Claude Bernard scolaire diffusé en particulier par la circulaire du 17 Octobre 1968. Priorité au fait d'observation qui prime tout, absence du concept de modèle, absence du concept de représentations qui font obstacle, sous estimation de l'importance des études statistiques. Une importante mise à jour de la documentation et de la formation initiale et permanente est nécessaire.

- La recherche des « critères » est utile mais n'aboutit à aucun consensus chez les scientifiques et les épistémologues eux-mêmes. Elle est donc fragile.

- L'opposition entre faits et théories est une impasse. L'essentiel est d'articuler les deux, sans privilégier l'un ou l'autre.

- Déplacer le centre de gravité de la réflexion vers la formation et la critique des concepts, l'identification d'obstacles, l'importance de la fécondité des idées et des méthodes, sur la dynamique du travail, son développement historique permet d'amener l'adversaire sur un terrain où il n'a rien à dire puisqu'il est figé dans des affirmations éternelles.

- L'idéologie politique fait croire à la permanence, à l'immobilité, au fait « qu'il en a toujours été ainsi ». Il faut cependant noter que si l'on continue à dire « darwinisme » en désignant cette théorie scientifique par un mot créé avec le nom de son auteur initial, le contenu scientifique

n'est pas demeuré inchangé. Il a été complété, rectifié par l'apport de la génétique, réfuté parfois sur quelques points (possibilité d'une dérive génétique aléatoire). De plus certains de ses concepts impossibles à tester à l'époque ont été soumis à l'épreuve de l'expérimentation. Dire « darwinisme » risque de laisser croire à une permanence théorique face à une autre permanence théorique celle du « créationnisme ».

– Ceux qui diffusent les idées créationnistes ne sont pas des obscurantistes. Si l'on parle d'obscurantisme pour reprendre le vocabulaire de l'époque des « lumières » il faut encore préciser que les tenants du créationnisme ne sont pas incultes, mais sont bien souvent des scientifiques ou plutôt des *ingénieurs ou des médecins* qui adhèrent à *l'aspect opératoire et efficace* de la science tout en adhérant également à cette métaphysique d'un Dieu créateur. C'est le paradoxe apparent de la coexistence chez un même individu d'un *couple théologico-technique*. Par contre on peut supposer qu'ils utilisent la crédulité de ceux à qui ils s'adressent. Si l'on accepte de tourner une nouvelle fois le regard critique vers nous mêmes on peut affirmer que l'enseignement des SVT véhicule lui même, une *représentation d'ingénieur ou de médecin et non pas de savant*. On privilégie un *savoir utile* et non pas un *savoir vrai*, c'est-à-dire ayant un statut de vérité validée. On ne trouve que rarement une réflexion sur les « critères de scientificité », ou plus exactement la simple évocation d'expériences tient lieu de « preuves » et c'est très insuffisant. On précise rarement que cette « vérité est normée par la possibilité de sa propre rectification ». Rectification d'erreurs de la pensée commune tout autant que de théories scientifiques.

– Il faut aussi se rappeler que le « créationnisme scientifique » et « l'intelligent design » sont de mauvaise foi. En tant qu'idéologie politique aux États Unis ils s'expriment dans la langue religieuse, morale, ou pseudo-scientifique et diffusent une représentation imaginaire, falsifiée des rapports de production des connaissances, pour masquer les rapports de production économiques. Depuis la diffusion du travail de Darwin à partir de 1859 cette lutte a pris plusieurs aspects différents, mais le débat est apparemment sans fin, c'est-à-dire qu'il ne peut être clos. Une doctrine ne rencontre jamais le réel, contrairement à une idéologie scientifique au sens où G. Canguilhem l'a définie, qui trouve une fin quand une science vient prendre sa place et apporter des réponses validées aux questions urgentes posées par la vie. Soyons sans illusions dans la possibilité de triompher de ce type de doctrine.

Dans cette discussion les enseignants de sciences ne sont donc jamais certains de ne pas donner des armes à leurs adversaires, nous venons de le montrer j'espère. La plus grande vigilance s'impose. Voilà donc plusieurs axes de réflexion pour la formation des enseignants tout autant que pour la recherche didactique.



# **LE MODÈLE PARTICULAIRE AU COLLÈGE: FLUCTUATIONS DES PROGRAMMES ET APPORTS DE L'HISTOIRE DES SCIENCES**

**The particle model: changes in the curricula  
and the contribution of the history of science**

**El modelo particulario en el colegio: fluctuación  
de los programas y aportación de la historia de  
las ciencias**

**Das partikularische modell am college :  
schwankungen in den lehrplänen und beibringung  
der wissenschaftsgeschichte**

**Danie BREHELIN, Muriel GUEDJ**

Laboratoire interdisciplinaire de recherche en didactique éducation et formation  
(LIRDEF) – équipe études et recherches sur l'enseignement des sciences (ERES)  
IUFM de l'académie de Montpellier  
d.brehelin@voila.fr ; muriel.guedj@montpellier.iufm.fr

## ***Résumé***

*Cet article part d'un constat pour aboutir à une proposition. Dans une première partie nous mettons en évidence que l'ordre d'introduction dans les programmes successifs du collège français (enfants âgés de 11 à 15*

ans) des principaux concepts, modèles et symboles de chimie relatifs à l'interface micro-macro (particule, atome, molécule, espèce chimique, etc.) traduit un grand nombre d'hésitations de la part des concepteurs de ces programmes. Un des problèmes majeur est lié à la modélisation des aspects microscopiques de la matière qui sont abordés soit en premier, soit après les aspects macroscopiques.

Dans une deuxième partie, nous proposons une séquence de classe qui s'appuie sur des éléments d'histoire des sciences, permettant d'introduire les divers concepts tout en favorisant le questionnement nécessaire à leur acquisition. Une fois comprises les notions de modèle, de « particules » et de continu/discontinu telles que nous les introduisons, nous pensons que les élèves seront à même de recevoir un enseignement élémentaire de chimie quel que soit alors l'ordre de présentation des concepts.

**Mots clés :** programme chimie, collège, macro-micro, particule, histoire des sciences.

### **Abstract**

*This article starts with a report and ends with a proposal. In the first part, we will highlight the fact that the order in which the main concepts, models and symbols - related to micro-macro interface (particles, atoms, molecules, chemical species, etc - are introduced in the French middle school chemistry curricula (for 11-to-15 year-old students) reveals a lot of hesitations on the part of curriculum makers. One of the biggest problems is linked to the modelling of microscopic aspects of matter which is broached first or right after the macroscopic aspects.*

*In the second part, we will suggest a teaching sequence based on elements of the history of science that allow us to broach different concepts while promoting questioning, a requisite for learning. Once the notions of models, particles and continuous/discontinuous have been understood the way they have been introduced, we believe that the students will be able to follow basic lessons of chemistry whatever the order in which the concepts are introduced.*

**Keywords :** chemistry curriculum, macroscopic-microscopic, particles, history of science.

### **Resumen:**

*Este artículo empieza con una constatación para llegar a una proposición.*

*En una primera parte ponemos en evidencia que el orden de introducción de los programas sucesivos en el colegio francés (niños con edad de*

11 a 15 años) de los principales conceptos, modelos y símbolos de química relativos a la interfase micro-macro (partícula – átomo – molécula – especie química etc.) traduce un gran número de dudas por parte de los conceptores de dichos programas. Uno de los mayores problemas está vinculado con la modelización de los aspectos microscópicos de la materia que se abordan sea primero, sea después de los aspectos macroscópicos.

En segunda parte proponemos una secuencia de clase que se apoya en algunos elementos de la historia de las ciencias que permiten introducir diferentes conceptos además de favorecer el cuestionamiento necesario para su adquisición. Una vez entendidas las nociones de modelo, de partículas y de continuo/discontinuo, tales como las introducimos, creemos que los alumnos serán capaces de recibir una enseñanza elemental de química, cualquiera que sea el orden de presentación de los conceptos.

**Palabras clave:** programa de química, colegio, macro-micro, partícula, historia de las ciencias.

### **Zusammenfassung**

Dieser Artikel geht von einer Feststellung aus und mündet in einen Vorschlag. Im ersten Teil betrachten wir die Reihenfolge, in der die wichtigsten Begriffe, Modelle und Symbole in Chemie, die die micro-macro Schnittstelle betreffen (Partikel, Atom, Molekül, chemische Gattung usw.) in die jeweiligen Lehrpläne am französischen Collège (11- bis 15jährige Schüler) eingeführt werden. Diese Reihenfolge lässt zahlreiche Verzögerungen von Seiten der Verfasser dieser Lehrpläne erkennen. Eines der wichtigsten Probleme betrifft die Modellisierung der mikroskopischen Aspekte der Materie, die entweder am Anfang des Lehrplans oder erst nach den makroskopischen Aspekte besprochen werden.

Im zweiten Teil legen wir eine Unterrichtssequenz vor, die auf wissenschaftsgeschichtlichen Aspekten beruht, dank denen die verschiedenen Begriffe eingeführt werden können, wobei man die Fragestellung fördert, die die Erfassung dieser Begriffe nicht entbehren kann. Erst wenn die Begriffe des Modells, der „Partikeln“ und des kontinuierlich-diskontinuierlich Gegensatzes verstanden sind, denken wir, dass die Schüler imstande sind, zu einem Grundwissen in Chemie zu gelangen, in welcher Reihenfolge die Begriffe auch eingeführt werden mögen.

**Schlüsselwörter:** Lehrplan Chemie, Collège, makro-mikro, Partikeln, Wissenschaftsgeschichte.

## INTRODUCTION

La parution récente en France d'un nouveau programme pour l'enseignement des sciences physiques au collège (élèves âgés de 11 à 15 ans) nous a amené à examiner dans un premier temps les précédents depuis une trentaine d'années, c'est-à-dire depuis la création d'un collège dit « unique ». Cette recherche résulte de la volonté de mieux appréhender l'évolution de la discipline scolaire et par là de trouver une justification aux programmes actuels. Nous nous sommes plus particulièrement intéressées à la présentation de quelques objets de savoir dans le programme de chimie. C'est ainsi que, dans un premier temps nous avons choisi d'établir pour chacun des programmes concernés la chronologie de l'introduction des concepts « atome », « molécule » et « ion », ainsi que leurs modèles et symboles. Cette orientation résulte du fait que ces notions constituent le champ conceptuel de base de la chimie enseignée au collège.

Nous avons résumé ces données dans le tableau 1 pour lequel le premier chiffre représente la classe concernée par l'introduction du savoir donné et le deuxième correspond à l'ordre d'apparition de cet objet de savoir. C'est ainsi que pour le programme de 1977, le modèle particulaire est introduit en classe de quatrième et vient après le concept d'élément alors que pour le programme de 1985, il est introduit en classe de cinquième et vient après qu'aient été présentés d'abord le symbole et le premier modèle de l'atome, puis la molécule et la formule moléculaire (ces deux dernières notions n'étant traitées qu'en classe de troisième dans le programme précédent).

PROGRAMMES SUCCESSIFS					
Date de début d'application :	1977	1985	1993	1997	2006
<i>Sciences Physiques enseignées en classes de</i>	<i>6<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>6<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>
Concept, symbole ou modèle introduit					
Élément	5 <sup>e</sup> - 1				
Modèle particulaire	4 <sup>e</sup> - 2	5 <sup>e</sup> - 3		5 <sup>e</sup> - 1	4 <sup>e</sup> - 1
1 <sup>er</sup> modèle de l'atome (atome boule)	4 <sup>e</sup> - 3	5 <sup>e</sup> - 1	4 <sup>e</sup> - 4	4 <sup>e</sup> - 3	4 <sup>e</sup> - 3
2 <sup>e</sup> modèle de l'atome (structure)	4 <sup>e</sup> - 4	4 <sup>e</sup> - 4	3 <sup>e</sup> - 7	3 <sup>e</sup> - 7	3 <sup>e</sup> - 9

PROGRAMMES SUCCESSIFS					
Date de début d'application :	1977	1985	1993	1997	2006
<i>Sciences Physiques enseignées en classes de</i>	<i>6<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>6<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>
Symbole atome	4 <sup>e</sup> – 5	5 <sup>e</sup> - 1	4 <sup>e</sup> - 4	4 <sup>e</sup> – 4	4 <sup>e</sup> – 4
Symbole électron	4 <sup>e</sup> – 6	4 <sup>e</sup> - 5	3 <sup>e</sup> – 8	3 <sup>e</sup> – 8	3 <sup>e</sup> – 7
Ion	4 <sup>e</sup> - 7	4 <sup>e</sup> - 6	4 <sup>e</sup> – 2	3 <sup>e</sup> – 9	3 <sup>e</sup> – 8
Formule ion	4 <sup>e</sup> - 7	4 <sup>e</sup> - 6	4 <sup>e</sup> – 3	3 <sup>e</sup> – 10	3 <sup>e</sup> – 10
Équation-bilan ionique	4 <sup>e</sup> - 8	4 <sup>e</sup> - 7	3 <sup>e</sup> - 9	3 <sup>e</sup> – 11	
Molécule	3 <sup>e</sup> - 9	5 <sup>e</sup> - 2	4 <sup>e</sup> – 1	5 <sup>e</sup> – 2	4 <sup>e</sup> – 2
Formule molécule	3 <sup>e</sup> - 9	5 <sup>e</sup> - 2	4 <sup>e</sup> - 5	4 <sup>e</sup> – 5	4 <sup>e</sup> – 5
Équation-bilan moléculaire	3 <sup>e</sup> - 10	3 <sup>e</sup> - 8	4 <sup>e</sup> - 6	4 <sup>e</sup> – 6	4 <sup>e</sup> – 6

**Tableau 1 • Évolution dans l'ordre de présentation des concepts, symboles et modèles et des classes dans lesquelles ils apparaissent.**

Par ailleurs, il apparaît de nombreuses hésitations, de la part des concepteurs de programmes, à savoir quelle approche, microscopique ou macroscopique, doit être abordée en premier.

Nous allons, dans un premier temps, nous intéresser à la façon dont les différents programmes appliqués au collège ont abordé cette dualité « micro-macro ». Les programmes ont-ils proposé une évolution du phénomène macroscopique vers le phénomène microscopique ou au contraire ont-ils initié dès le début les élèves à une vision microscopique des phénomènes chimiques ?

# 1 APPROCHE MICROSCOPIQUE OU MACROSCOPIQUE ?

Quand on se plonge dans l'histoire de la Chimie, on constate que jusqu'à Lavoisier, les savants ont surtout considéré les composés chimiques sous leur aspect macroscopique. C'est Dalton, en 1808, qui est le premier à faire un lien entre le macroscopique accessible à l'expérience et le microscopique imaginé (Dumon et Laugier, 2004).

Du côté de l'enseignement, plusieurs auteurs, comme Barlet et Plouin (1997) ont mis en évidence qu'à l'université certains étudiants étaient encore confrontés à divers obstacles liés à la dualité microscopique-macroscopique, ce qui montre la persistance de conceptions issues du « sens commun » et l'absence de « conscience microscopique » face aux phénomènes observables à l'échelle macroscopique. Pour ces auteurs, la compréhension profonde des phénomènes macroscopiques (et de leurs traductions symboliques ou mathématiques) passe nécessairement par des représentations correctes de leurs aspects microscopiques. Ils soulignent par ailleurs que les enseignants, lorsqu'ils font cours, « se déplacent facilement, sans toujours l'indiquer, entre ces aspects macroscopiques et microscopiques... » et n'ont pas toujours conscience des capacités conceptuelles que cela demande aux élèves. Comme le souligne Barlet (1999), c'est cette « dualité macroscopique-microscopique ; observable-modélisable ; concret-abstrait » qui fait la spécificité de la chimie et en même temps la difficulté de son enseignement.

En effet, Dumon et Laugier (2004) expliquent que « ce passage de l'observable au modélisable nécessite la maîtrise de concepts du registre microscopique (atome, élément, molécule, ion, masses atomique et moléculaire), du registre macroscopique (espèce chimique, corps simple, corps composé, masse molaire), du registre symbolique (symboles des éléments, formules des espèces chimiques, nombres stoechiométriques)... ». Selon Barlet et Plouin (1994), c'est l'équation de réaction qui est le concept intégrateur permettant de lier ces trois domaines. Ainsi, en reprenant cette idée, Dumon et Laugier (2004) écrivent que : « pour comprendre la signification de l'équation de réaction, l'élève doit être en mesure de circuler entre la situation expérimentale observée (le registre des phénomènes sensibles, au niveau macroscopique : ce qui peut être vu, touché, senti) et le domaine des modèles où le comportement des substances est interprété en termes de choses non visibles et moléculaires (le registre microscopique : atomes, molécules, ions, structures) ; ceci se traduit sous forme de notations et d'équations (le registre des représentations symboliques : élément, formule, équation, mole, etc.) ».

Barlet et Plouin (1997) notent que « cette modélisation constitue un enjeu didactique reconnu au coeur de chacune des réformes intervenant dans l'enseignement secondaire. Pour éviter que cette modélisation ne se transforme en véritable obstacle, nombreux sont les auteurs qui prônent une approche macroscopique de la réaction chimique suivie d'un apprentissage liant macroscopique et microscopique ». Pour notre part, nous pensons qu'il est nécessaire que les élèves aient eu tout d'abord l'occasion de réfléchir aux notions de modèle, de « particule » et sur les aspects continu/discontinu de la matière avant d'aborder l'enseignement de la chimie proprement dit. Une proposition dans ce sens constitue la deuxième partie de notre article.

## **2 PRÉSENTATION D'ÉLÉMENTS DES PROGRAMMES SUCCESSIFS DE SCIENCES PHYSIQUES AU COLLEGE**

### **2.1 Programmes 1977**

Ces programmes correspondent à l'introduction d'un enseignement de sciences physiques dans les collèges (création du « collège unique » par le ministre de l'Éducation nationale, M. René Haby). Ils émanent des travaux de la commission Lagarrigue (du nom de son président) qui a travaillé de 1971 à 1976. Ils ont été conçus comme un programme de fin d'études, la majorité des élèves, à cette époque, quittant l'école à la fin de la 3<sup>e</sup>. Le collège est alors partagé en deux cycles, le premier d'observation (6<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>), le second d'orientation (4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>).

Les sciences physiques sont enseignées dans toutes les classes du collège, de la 6<sup>e</sup> à la 3<sup>e</sup> sans discontinuité. L'horaire attribué à l'enseignement de physique-chimie est de 1 h 30 par semaine. Ces programmes ont été appliqués à la rentrée scolaire 1977 pour la classe de 6<sup>e</sup>, puis successivement en 1978, 1979 et 1980 pour les classes de 5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>.

#### ***Lecture des programmes et des instructions***

(BOEN n° 11 du 24 mars 1977 et n° spécial 4 bis du 11 janvier 1979)

Cette lecture nous permet de mettre en évidence les particularités de ce programme que nous soulignons dans le texte. Nous indiquerons également, dans la mesure du possible, le but pour lequel les différentes notions sont introduites.

**Classe de 6<sup>e</sup>** – Le programme de chimie de 6<sup>e</sup> est consacré à l'étude des propriétés physiques de la matière (solide, liquide, gaz) et de quelques combustions. Étude limitée à la forme et au volume selon l'état physique, la masse, des notions sur les transformations physiques, et la température.

**Classe de 5<sup>e</sup>** – Le concept d'élément est introduit en classe de 5<sup>e</sup>. Ce concept, selon la commission Lagarrigue, « joue un rôle important dans l'élaboration ultérieure du modèle atomique ». L'objectif est de « permettre aux élèves d'acquérir les bases expérimentales qui faciliteront ultérieurement l'introduction des modèles sur la structure de la matière » (conclusions travaux Lagarrigue, 1976).

**Classe de 4<sup>e</sup>** – L'aspect microscopique est abordé en classe de 4<sup>e</sup> seulement. Sans être strictement nommé, le modèle particulaire constitue le point de départ du programme de 4<sup>e</sup> : on parle de « cristal métallique ». Cependant, ce modèle n'a pas pour objectif d'expliquer les propriétés physiques de la matière (étudiées en classe de 6<sup>e</sup>), mais d'introduire dès le départ le premier modèle de l'atome. Le « cristal métallique » est décrit comme un modèle compact d'atomes sphériques empilés. L'atome (et son modèle) est donc le premier « objet » microscopique introduit.

La structure de l'atome (noyau, électrons) est ensuite abordée, et sont introduits alors les symboles d'atomes et de l'électron. L'unité atomique est l'Angström.

Les instructions accompagnant ce programme précisent que la masse de l'atome ne doit pas être abordée : Il s'agit d'un « premier contact avec le modèle atomique et son échelle. L'utilisation d'images simples et concrètes devra toujours être recherchée. » [...] « Il est conseillé d'éviter toute allusion à la masse des atomes » (car la mole et le nombre d'Avogadro sont hors programme) mais il faut « insister sur le fait que l'électron a une masse négligeable par rapport à celle de n'importe quel atome ».

Le programme de 4<sup>e</sup> se termine par l'introduction des ions et de leurs formules et les premières équations-bilan<sup>1</sup> ioniques sont écrites.

**Classe de 3<sup>e</sup>** – Ce n'est qu'en 3<sup>e</sup> que les élèves entendent parler pour la première fois du concept de molécule, écrivent les premières formules de molécules (formules compactes essentiellement, mais l'intérêt des formules développées est évoqué à l'occasion de l'étude de quelques hydrocarbures) et équilibrent<sup>2</sup> les premières équations-bilan moléculaires.

Il est possible d'utiliser des modèles moléculaires compacts ou éclatés, mais les instructions sont précises : « La présentation des modèles compacts et des modèles réduits aux noyaux (appelés parfois

---

(1) On utilise actuellement la dénomination « équation de réaction »

(2) On parle maintenant « d'ajuster les coefficients » et non d'équilibrer

modèles éclatés) ne doit pas être prétexte à donner des valeurs précises des distances interatomiques, mais on fera remarquer que les atomes sont jointifs et s'interpénètrent dans une molécule et qu'en conséquence les distances interatomiques sont du même ordre de grandeur que les rayons des atomes, donc de l'ordre de l'Angström ».

## 2.2 Programmes 1985

Sous le ministère de M. Jean-Pierre Chevènement, l'objectif du collège a changé. L'objectif est maintenant de « *faire accéder 80 % d'une classe d'âge au baccalauréat* ». La classe de 3<sup>e</sup> n'est plus une classe de fin d'études. On procède donc à la « rénovation des collèges ».

Le nouveau programme doit permettre « *la poursuite d'études scientifiques et techniques au meilleur niveau* ». L'examen des anciens programmes et la rédaction des nouveaux est confiée à la commission permanente de réflexion sur l'enseignement des sciences physiques (COPRESP) – dans laquelle les associations de professeurs ne sont pas représentées. L'horaire de Sciences physiques est toujours le même : une heure et demie par semaine pour chacune des quatre classes du collège. Ces programmes ont été appliqués aux rentrées scolaires 1986 (pour la 6<sup>e</sup>), 1987 (5<sup>e</sup>), 1988 (4<sup>e</sup>) et 1990 (3<sup>e</sup>).

### *Lecture des programmes et instructions*

(supplément au *BOEN* n° 44 du 12 décembre 1985)

**Classe de 6<sup>e</sup>** – Comme dans le précédent programme, le programme de 6<sup>e</sup> est consacré à l'étude macroscopique des propriétés physiques de la matière (volume et masse de solides et de liquides, changements d'état, température). Il aborde ensuite la constitution de l'air et les combustions (carbone, soufre, combustibles usuels).

**Classe de 5<sup>e</sup>** – On remarque que le concept d'élément disparaît totalement. Les difficultés d'enseigner ce concept, sans l'aide du modèle atomique, unanimement reconnues par les enseignants et soulignées par les travaux de Martinand (1979, 1980), ont amené les concepteurs de programme à reporter l'introduction de ce concept en classe de 2<sup>de</sup>.

Par contre, l'aspect « micro » est introduit dès la classe de 5<sup>e</sup> (et non plus en 4<sup>e</sup> comme dans le précédent programme). C'est dès le début du programme de chimie que l'existence des atomes et des molécules est affirmée « *sans essai de redécouverte* ». Les symboles et formules sont écrits par la même occasion. L'atome, premier « objet micro » introduit est décrit comme une sphère. Le modèle particulaire est abordé ensuite

seulement pour différencier les corps purs simples et les corps purs composés ainsi que les mélanges. Le concept de molécule se trouve donc introduit conjointement à celui d'atome (il n'apparaissait qu'en classe de 3<sup>e</sup> dans le programme de 77. La taille des atomes et molécules est exprimée en nanomètre (et non plus en Angström comme dans le programme précédent), cette orientation témoignant sans doute d'une volonté d'évoluer vers le Système International d'unités (SI).

On peut lire dans les instructions que « L'utilisation par le professeur et par les élèves des modèles moléculaires est recommandée, en particulier celle des modèles compacts qui rendent bien compte de l'encombrement des molécules sans privilégier les liaisons comme le font les modèles éclatés ».

**Classe de 4<sup>e</sup>** – En 4<sup>e</sup>, la structure atomique des métaux précède l'étude de la structure de l'atome : l'atome est constitué d'un noyau et d'électrons. Le symbole de l'électron est donné. La structure de l'atome permet ensuite l'interprétation électronique du courant électrique dans un métal. Le programme de 4<sup>e</sup> se termine sur la notion d'ions métalliques et de leurs formules. L'objectif final étant d'écrire les équations d'obtention des ions à partir du métal correspondant.

**Classe de 3<sup>e</sup>** – L'étude et la combustion de quelques corps moléculaires et solides, en 3<sup>e</sup>, permet enfin l'écriture des équations-bilan moléculaires. Les formules développées sont encore ici envisagées (pour le cas des alcanes simples).

Selon les instructions, « La mole et le nombre d'Avogadro étant hors du programme, la signification des formules sera strictement limitée à la composition en atomes à l'exclusion de toute considération de masse et de volume ». Par ailleurs on donne la préférence aux modèles moléculaires compacts, mais il est spécifié de ne pas les utiliser pour expliquer le mécanisme d'une réaction chimique : « Une large utilisation des modèles moléculaires est recommandée, mais le professeur veillera à ne jamais les employer pour suggérer des mécanismes de réaction ».

## 2.3 Programmes 1993

Depuis son introduction (en 1977), l'enseignement des sciences physiques au collège a déçu ! Dès 1990, M. Lionel Jospin, ministre de l'Éducation nationale, écrit au président de conseil national des programmes en lui demandant de recueillir l'avis du conseil « sur une nouvelle conception de l'enseignement de la physique et de la chimie au collège ». Cette lettre, condamnant la réforme de 1977, paraît au *BOEN* le 5 juillet 1990 :

« Les objectifs des auteurs de cette réforme n'ont manifestement pas été atteints, car aujourd'hui, trois constatations négatives peuvent être faites :

– L'organisation de cet enseignement n'obéit pas toujours à la cohérence nécessaire pour assurer une véritable progression des connaissances tout au long du collège ;

– le caractère expérimental de l'enseignement de ces disciplines est souvent sujet à caution, faute d'horaires et d'équipements de laboratoires de collège adaptés ;

– Un hiatus sépare l'enseignement de la physique et de la chimie entre le collège et le lycée.

Ainsi, tout en alourdissant le travail des élèves des classes de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>, l'enseignement des sciences physiques n'a pas répondu aux espoirs mis en lui ».

Conséquence : la suppression de l'enseignement de sciences physiques est décidée pour le cycle d'observation et devient effective à la rentrée scolaire 1991 pour la classe de 6<sup>e</sup>, en 5<sup>e</sup> l'année suivante. L'horaire hebdomadaire est légèrement augmenté : 2 heures par semaine dans chacune des deux classes de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> du cycle d'orientation.

Depuis la création du conseil national des programmes (CNP) en 1990, c'est aux groupes techniques disciplinaires (GTD) de physique et de chimie qu'est confiée la responsabilité de rédiger les projets de programmes de physique-chimie. Remarquons que pour la première fois, une association d'enseignants (Union des Physiciens) est associée à la phase de concertation. Ces nouveaux programmes sont appliqués en 1993 pour la classe de 4<sup>e</sup> et en 1994 pour la 3<sup>e</sup>.

Orientation intéressante : l'enseignement de la chimie devient thématique. Le thème choisi pour la classe de 4<sup>e</sup> est celui des eaux et boissons. En 3<sup>e</sup>, la chimie s'intéresse aux matériaux de notre environnement. De plus, parmi les principes directeurs de l'enseignement de la chimie au collège et au lycée, se trouve un large paragraphe relatif à la modélisation (document d'accompagnement 4<sup>e</sup>, 1993) : « La chimie a dû, pour progresser, se doter d'un langage qui lui est propre mais dont l'usage dépasse largement la discipline. Ce langage à base de symboles (H, C, Cu...) obéit à des règles strictes (valence) et permet aux chimistes de représenter dans l'espace à deux ou trois dimensions les structures qu'ils construisent. Les réactions chimiques peuvent être traduites dans ce langage sous forme d'équation-bilan. L'acquisition de ce langage et du vocabulaire qui y est associé (atome, molécule, ion, corps composé, élément, etc.) est nécessaire à qui veut « parler » chimie. Sous-jacent à ce langage, figure un certain nombre de concepts abstraits qui ont conduit au modèle particulière de la matière. L'enseignement de la chimie peut être

l'occasion idéale de développer l'utilisation d'un modèle, d'en montrer les limites, de le sophistiquer en fonction des besoins.

Par exemple, le modèle de l'atome commence par une sphère rigide au début du collège, puis se précise sous la forme d'un ensemble de noyau + électrons en fin de collège, enfin s'enrichit en seconde avec le cortège électronique en couches.

Toute la rigueur d'une discipline expérimentale est dans la bonne utilisation des modèles qu'elle utilise pour décrire une réalité souvent complexe. Les modèles n'ont nul besoin d'être mathématiques pour être rigoureux. La chimie comme la biologie fait largement appel à des modèles non mathématiques pour progresser ».

Par ailleurs, on note dans le document d'accompagnement pour la classe de 4<sup>e</sup> (1993) une nette évolution dans la justification implicite de l'introduction des objets du modèle : « En ce qui concerne la modélisation, le choix a été fait de ne présenter de nouvelles entités (atome, électron, proton, neutron) que lorsqu'elles sont nécessaires (ou du moins utiles) pour expliquer, ou pour prévoir les phénomènes étudiés ».

### ***Lecture des programmes et instructions***

(BOEN n° 31 du 30 juillet 1992 et n° 41 du 2 décembre 1993)

Comme dans le programme précédent (1985), on constate que le concept d'élément n'est pas abordé au collège. Le modèle particulaire n'est pas enseigné, ce qui est logique puisque, dans cet enseignement thématique, débutant en 4<sup>e</sup> seulement, les propriétés physiques de la matière n'ont pas été étudiées en préambule.

**Classe de 4<sup>e</sup>** – Après une introduction rapide sur le rôle de l'eau dans les organismes vivants et sa place dans l'alimentation, le premier concept « micro » introduit en classe de 4<sup>e</sup> est, non plus l'atome, mais la molécule (eau et cyclohexane ou éthanol), ce choix n'étant pas justifié dans les textes officiels. Curieusement, les formules de ces molécules ne sont pas introduites, mais leurs tailles, et leurs formes sont décrites (il est même recommandé d'utiliser à ce stade des modèles compacts ne faisant pas apparaître les atomes constituants).

Afin d'expliquer la conductivité, de certaines solutions aqueuses la deuxième entité introduite lors de cette première année de chimie est l'ion (jusqu'à présent, l'ion était toujours présenté après les concepts d'atome et de molécule). Les ions sont désignés par leur nom et leur formule (formule qui « *pourra être présentée, dans un premier temps, même si sa signification n'est précisée qu'après l'introduction du premier modèle d'atome* »).

Après les concepts de molécule et d'ion est introduite une première approche du concept d'atome afin d'aborder la notion de réaction chimique. « Les atomes seront présentés comme des sphères ; ils seront distingués par leur symbole, leur rayon relatif, leur masse ». Il faut noter que, sans que cela soit justifié dans les programmes, la masse devient pour la première fois une des grandeurs caractérisant l'atome. Il fallait auparavant éviter de parler de cette grandeur... la mole et le nombre d'Avogadro n'étant pas au programme !

Le programme donne le choix pour l'unité du domaine microscopique : le nanomètre ou le picomètre.

L'écriture des symboles des atomes d'oxygène, d'hydrogène et de carbone, permet d'aborder l'écriture des formules moléculaires (dihydrogène, dioxygène, eau, monoxyde de carbone, dioxyde de carbone) ; les réactions d'électrolyse de l'eau et de combustion du carbone et du dihydrogène amènent à écrire les premières équations-bilan moléculaires (cette notion était reportée en classe de 3<sup>e</sup> dans les deux programmes précédents). À ce stade est préconisée l'utilisation de modèles moléculaires compacts faisant apparaître les atomes comme des entités différenciées, ce qui « permettra de visualiser les réactifs et les produits de combustion et constituera une aide pour l'écriture des équations-bilan » (aide jusqu'à présent fortement déconseillée !).

**Classe de 3<sup>e</sup>** – Après une introduction traitant des propriétés et utilisations des matériaux qui nous entourent, le programme de chimie de 3<sup>e</sup> envisage le comportement de ces matériaux dans notre environnement. Les réactions de ces matériaux avec le dioxygène de l'air permettent d'introduire le modèle de l'état solide métallique. C'est pour interpréter les réactions des matériaux avec l'eau et les solutions acides et basiques qu'est précisée la notion d'ion abordée dans la classe précédente. L'introduction d'un nouveau modèle de l'atome (noyau et électrons) permet alors d'interpréter les réactions chimiques mises en jeu et d'écrire les premières équations-bilan ioniques (jusque là écrites en 4<sup>e</sup>). On remarque que l'enseignement des formules développées, jusque là effectué en 3<sup>e</sup>, disparaît complètement dans ce programme (peut-être pour ne pas avoir à aborder la notion de liaison entre atomes ?).

## 2.4 Programmes 1997

Alors que M. François Bayrou est ministre de l'Éducation nationale, on procède à une nouvelle rénovation du collège. Celui-ci est alors découpé en 3 cycles pédagogiques : le cycle d'adaptation correspond à l'année de 6<sup>e</sup> ; le cycle central dure deux années (classes de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup>) ; le cycle d'orientation correspond à la dernière année de collège avec la classe de

3<sup>e</sup>. On procède alors à une réintroduction de l'enseignement des sciences physiques en 5<sup>e</sup>. Les nouveaux programmes proposés par le groupe technique disciplinaire (GTD) de physique-chimie prennent en compte les programmes de l'école primaire (programmes 1995) et leurs objectifs sont ambitieux : « former les esprits à la rigueur, à la méthode scientifique, à la critique et l'honnêteté intellectuelle, [...] susciter la curiosité, [...] former au raisonnement, [...] susciter des vocations scientifiques... » (BOEN hors-série n° 1 du 13 février 1997). L'enseignement doit faire ressortir que la physique et la chimie sont des éléments de culture essentiels en montrant que le monde est intelligible... De nouveaux documents d'accompagnement des programmes, élaborés par le GTD paraissent (pour les classes de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> en 1997, pour la classe de 3<sup>e</sup> en 1999). L'horaire de sciences physiques est modulable : 1 heure et demi à 2 heures par semaine en 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> selon les collèges, 2 heures par semaine en 3<sup>e</sup>.

### ***Lecture des programmes et instructions***

(BOEN hors-série n° 1 du 13/02/0997 et hors-série n° 10 du 15/10/1998)

Le concept d'élément, comme dans les programmes 1985 et 1993, n'est pas abordé au collège. Comme dans le programme 1993, on note cette volonté d'introduire les différents concepts et modèles uniquement lorsque leur introduction s'avère nécessaire à la compréhension d'un nouveau phénomène.

**Classe de 5<sup>e</sup>** – Sur l'exemple de l'eau, les propriétés de la matière (solide, liquide, gaz) et leurs transformations constituent l'essentiel du programme de chimie de 5<sup>e</sup>. Le modèle particulaire, quelquefois dénommé « modèle moléculaire » est « réintégré » pour interpréter les propriétés physiques de la matière (changements d'état, compressibilité des gaz, etc.) ou pour distinguer mélange et corps pur. C'est ainsi qu'une étude documentaire sur l'histoire du « modèle moléculaire » est proposée comme exemple d'activité. Comme dans le programme 1985, la molécule est donnée comme premier exemple de particule et les trois états de la matière sont décrits à travers le « modèle moléculaire ». Cependant, le programme envisage l'introduction de ce modèle au dernier chapitre seulement, à titre de « révision » de toutes les propriétés étudiées jusqu'à présent du point de vue macro. Il faut cependant remarquer que le programme laisse une certaine part de liberté à l'enseignant : « la présentation du modèle moléculaire peut être faite par le professeur au moment qu'il juge opportun dans sa progression ».

Le document d'accompagnement des classes de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> (1997) fournit aux enseignants des outils pédagogiques efficaces comme une « brève histoire de la théorie moléculaire » et une proposition de démarche

d'introduction du modèle particulaire. Cette progression pédagogique, directement inspirée des travaux de didactique de A. Chomat, C. Larcher et M. Meheut (1988), amène l'élève à prendre connaissance d'un modèle, à l'appliquer à des situations expérimentales (la compressibilité des gaz par exemple), à le faire évoluer pour l'adapter à de nouvelles situations...

**Classe de 4<sup>e</sup>** – En 4<sup>e</sup>, le programme de chimie se poursuit par l'étude de l'air et du dioxygène. Les réactions de combustion du carbone et du méthane fournissent l'occasion d'introduire l'atome (comme constituant des molécules). On écrit les symboles des atomes, les formules de quelques molécules ( $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ) puis les premières équations-bilan moléculaires.

Le recours aux « modèles moléculaires » compacts est recommandé pour représenter les molécules des réactifs et des produits mais leur utilisation pour expliquer les mécanismes réactionnels est de nouveau déconseillée : « Il est recommandé d'utiliser des modèles compacts, représentations plus fidèles des structures microscopiques. Les atomes seront représentés comme des sphères. Ils seront distingués par un symbole : aucune connaissance de leur structure ne sera apportée dans cette classe. Le professeur gardera à l'esprit que les opérations de désassemblage et de réassemblage des atomes au cours des manipulations de modèles compacts ne correspondent pas, en général, à de véritables mécanismes réactionnels ».

La dimension atomique préconisée dans le programme est la dixième de nanomètre.

**Classe de 3<sup>e</sup>** – Dans cette classe, c'est dans la rubrique « matériaux et électricité » qu'est présenté le modèle « structure » de l'atome : atome constitué d'un noyau entouré d'électrons. Comme dans le programme 1993, la structure de l'atome est donc introduite en 3<sup>e</sup>, mais ici dans le but d'expliquer le modèle du courant électrique dans un métal.

L'ion est alors défini (à partir de l'atome) et la nature du courant dans les solutions est interprétée. Plus loin, le concept d'ion permet d'expliquer la réaction des solutions acides avec les métaux. On s'exerce à l'écriture de quelques formules ioniques et équations-bilan ioniques. On peut noter ici que le concept d'ion, qui était introduit en 4<sup>e</sup> dans tous les programmes précédents, est donc repoussé en 3<sup>e</sup>, ainsi que l'écriture des équations-bilan ioniques.

## 2.5 Nouveaux programmes (2006)

Sous la présidence de M. Jean-François Bach, un groupe d'experts a étudié les programmes actuels du collège dans les disciplines

qui constituent le pôle des sciences (mathématiques, physique-chimie, sciences de la vie et de la Terre, éducation physique et sportive). Le rapport Bach (2003) a été suivi d'une consultation nationale présentant les programmes du cycle central et de la classe de 3<sup>e</sup>. Les programmes définitifs de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> sont parus au *BOEN* Hors-Série n° 5 du 25 août 2005 pour être mis en application aux rentrées 2006 et 2007 respectivement. L'introduction générale de ce document précise que « ce n'est qu'au cycle central que la physique-chimie apparaît en tant que discipline à part entière » et qu'elle « doit rester à ce stade fortement corrélée aux autres disciplines scientifiques [...] en contribuant à l'éducation du citoyen, en particulier dans sa relation avec l'environnement en participant à l'éducation à l'environnement pour un développement durable (EEDD) ». L'enseignement « doit faire ressortir que la physique et la chimie sont des éléments de culture essentiels en montrant que le monde est intelligible ».

### ***Lecture des programmes de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> et du projet de programme de 3<sup>e</sup>***

(*BOEN* hors-série n° 5 du 25/08/2005 et rapport Bach, 2003)

**Classe de 5<sup>e</sup>** – Le programme est orienté vers l'expérimentation réalisée par les élèves dans le cadre d'une démarche d'investigation. Il propose une vision uniquement macroscopique des propriétés de la matière (états de la matière, changements d'état, mélanges et corps purs, etc.), et, comme dans le tout premier programme en vigueur au collège (1977), reporte l'aspect microscopique des phénomènes en classe de 4<sup>e</sup>.

**Classe de 4<sup>e</sup>** – Après la composition de l'air et le caractère compressible et pesant des gaz, le programme envisage d'introduire dans un premier temps la molécule à partir des deux exemples de l'eau et de l'air. La notion de molécule (sans pour autant décrire sa constitution en atomes) permettra d'interpréter les propriétés physiques de la matière abordées précédemment (compressibilité de l'air, différences entre corps purs et mélanges, différences entre les trois états physiques de l'eau, conservation de la masse lors des changements d'états et lors des mélanges, etc.). L'enseignement du « modèle particulaire », préambule habituel à l'introduction de la molécule, est proposé, comme dans le programme précédent, dans le but d'interpréter la compressibilité des gaz et on retrouve suggérée la même activité (étude documentaire sur l'histoire du « modèle moléculaire ») que dans le programme précédent.

Après ce modèle, dans un deuxième temps, le programme aborde l'étude des combustions et présente la molécule comme constituée d'atomes (sans description de la structure interne de l'atome) afin de pouvoir interpréter quelques unes de ces combustions. Les atomes sont représentés par des symboles, les molécules par des formules. On

écrit alors les premières équations de réaction (terme remplaçant celui d'équations-bilan) moléculaires.

Les commentaires apportent à l'enseignant des précisions intéressantes : « En ce qui concerne la description moléculaire de la matière, le professeur se rappelle que les concepts de molécule et d'atome, initialement imaginés comme des modèles susceptibles de rendre compte de propriétés macroscopiques de la matière ont acquis progressivement de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à nos jours le statut de véritables objets microscopiques. On réalise des jets moléculaires et des jets atomiques ;[...] une difficulté de l'enseignement dans ce domaine provient de l'existence de divers niveaux de description. Les connaissances acquises à ce jour permettent de se représenter ces objets microscopiques par des emboîtements successifs, à l'image des « poupées russes » [...]. D'un point de vue pédagogique il convient à chaque niveau d'enseignement, de limiter cette description au niveau qui est suffisant pour l'interprétation des phénomènes pris en compte. Ainsi, le fait que les molécules puissent être décrites comme des assemblages d'atomes ne joue pas de rôle tant que l'on ne décrit pas de réactions chimiques. Le professeur garde en mémoire que ce niveau de description n'apporte rien dans l'explication d'un changement d'état par exemple. On indique qu'un long processus historique a conduit à proposer une description des solides, des liquides et des gaz comme un assemblage de « grains de matière » qu'à titre provisoire et dans le cadre du programme, on désigne sous le nom de « molécules ». Le programme spécifie d'ailleurs un recours possible à l'histoire des sciences comme exemple d'activité : « de l'évolution du modèle moléculaire à la réalité de la molécule ». Il est recommandé ensuite d'utiliser des modèles moléculaires compacts, « représentations plus fidèles des structures microscopiques. [...] Le professeur garde à l'esprit que les opérations de désassemblage et de réassemblage des atomes au cours des manipulations des modèles compacts ne correspondent pas, en général, à de véritables mécanismes réactionnels qui ne sont étudiés actuellement qu'au niveau post-baccalauréat de l'enseignement général ».

**Classe de 3<sup>e</sup>** – À la date où nous rédigeons cet article, les programmes de physique-chimie pour la classe de 3<sup>e</sup> ne sont pas encore officiellement parus. Nous examinons donc le projet de programme paru dans le rapport Bach, 2003.

Contrairement au programme précédent, la structure atomique (noyau et électrons) ne précède pas l'introduction du concept d'ion. La compréhension de la conduction électrique dans les métaux, puis dans les liquides, amène au concept de charge électrique (électrons et ions) et conduit alors ensuite à une description plus élaborée de la structure de l'atome (noyau de charge positive entouré d'un cortège électronique dans lequel est réparti la charge négative). Les dimensions de l'atome

exprimées sont de l'ordre du dixième de nanomètre. On lit en commentaire : « L'existence des atomes étant rappelée aux élèves, une introduction historique leur est proposée pour leur faire prendre conscience que le modèle de l'atome qui leur est présenté est le fruit des efforts de plusieurs générations de scientifiques ».

Ultérieurement, après l'étude du pH, la réalisation expérimentale de quelques tests de reconnaissance d'ions amène les élèves à l'utilisation des formules de quelques ions monoatomiques. Puis, la réaction entre le fer et l'acide chlorhydrique conduit à considérer une transformation chimique dans laquelle interviennent des espèces ioniques. Cependant, l'écriture d'équations de réactions où interviennent des ions ne fait plus partie du programme. Le rapport Bach prévoit simplement que le bilan d'une réaction faisant intervenir des ions en solution s'écrira simplement en toutes lettres : il ne sera pas écrit d'équation.

### **3 POUR FAIRE LE POINT... QUELQUES QUESTIONS**

L'étude menée sur l'évolution des programmes met en avant les tâtonnements relatifs à l'introduction des différents concepts évoqués. Ainsi, on voit disparaître très rapidement la notion d'élément (programmes 1985), le modèle particulaire quant à lui étant abordé à différents niveaux de progression, voire même temporairement supprimé (programmes 1993). Par contre, une logique semble vouloir s'installer à partir des programmes de 1993 : la volonté d'introduire les concepts en réponse à une nécessité semble prévaloir. Par exemple l'introduction des symboles des atomes indispensable à l'écriture des formules moléculaires précède l'introduction de ces dernières. Cependant, comme nous l'avons indiqué dans la lecture des différents programmes ces nécessités ne relèvent pas toutes de la même justification. Par exemple l'étude de la structure de l'atome permet d'interpréter les réactions ioniques dans les programmes de 1993 alors que cette étude permet tout d'abord de justifier le modèle du courant électrique dans un métal dans le programme de 1997.

Cependant, d'autres exemples sont significatifs de certains tâtonnements des concepteurs de programmes :

Le choix de l'unité du domaine microscopique varie. Si, pour évoluer vers le Système International, l'angström du programme 1977 est abandonné dès 1985, le choix de l'unité atomique est encore fluctuant : nanomètre (1985), nanomètre ou picomètre (1993), dixième de nanomètre (1997, 2006), sans que ces variations ne soient justifiées.

L'évocation de la masse de l'atome est proscrite (1977 et 1985) ; sans que cela soit explicité elle devient une grandeur significative caractérisant l'atome en 1993 ;

Le recours aux modèles moléculaires (dans le sens de maquettes) pour expliquer le mécanisme de la réaction chimique est tour à tour totalement proscrit (1985), préconisé pour l'écriture des équations (1993), déconseillé (1997).

Les difficultés rencontrées par les prescripteurs de programme ne sont sans doute pas étrangères à la nature des concepts et elles rejoignent celles pointées par les chercheurs en didactique (voir première partie). Aussi, il nous a semblé intéressant d'interroger l'inscription temporelle des concepts étudiés pour tenter de mieux les appréhender dans le but de palier les difficultés rencontrées par les enseignants confrontés à cette diversité d'approches dans les programmes.

### 3.1 Logique ascendante ou descendante ?

À l'aube de la mise en application de ces nouveaux programmes de physique-chimie (rentrée 2006 pour la classe de 5<sup>e</sup>), on peut se demander la raison de ces fluctuations dans les curricula successifs du collège. Quelle logique a éclairé les différents concepteurs de ces programmes ?

Les programmes 1977 et 1985 abordaient l'enseignement de la chimie sous son aspect microscopique, l'atome étant le premier objet de savoir introduit pour éclairer seulement ensuite les phénomènes macroscopiques. Ils semblaient donc procéder d'une logique « ascendante » impliquant un enseignement de type « expositif », « efficace », dépouillé des errements inhérents au développement de la science et effectué par un enseignant détenteur d'un savoir déjà organisé.

Les programmes 1993 et 1997, ainsi que les nouveaux programmes 2006 s'inspirent plutôt d'une logique inverse, partant des phénomènes macroscopiques et faisant appel aux aspects microscopiques en second lieu et seulement quand cela devient nécessaire pour leur compréhension. Cette logique « descendante » est liée nous semble-t-il à la volonté de donner du sens en partant du concret, avec l'espoir secret de motiver les élèves et de les amener à un questionnement. Cet enseignement fait davantage appel à l'utilisation par les élèves d'un modèle, ce dernier étant un outil intégrateur indispensable à la compréhension des phénomènes observables. Dans cette situation, l'élève est quelquefois placé en situation de recherche face à un enseignement « problématisé ».

### 3.2 Modèle particulaire ou modèle moléculaire ?

L'expression « modèle moléculaire » apparue dans le programme 1997 génère, à notre avis, une certaine ambiguïté, que l'on retrouve d'ailleurs dans les programmes 2006. En premier lieu, même si la première des particules étudiées au cours de ces programmes est la molécule, il nous semble important que le terme « molécule » ne remplace pas celui de « particule ». Ce dernier en effet renvoie à une signification bien précise en chimie, héritée du sens donné par les philosophes grecs de l'Antiquité : « grain de matière » ou « plus petite partie de matière ». En effet, la particule se place au cœur même du problème initial posé par l'étude de la matière : la matière est-elle continue ou discontinue ? C'est cette « particule » qui se révélera, selon les cas, au cours de l'histoire, molécule, atome ou ion.

Mais peut-on construire ces concepts sans interroger le problème de continuité ou discontinuité de la matière ? Il nous semble donc que le modèle particulaire soit un passage obligé avant d'aborder le concept de molécule et que le terme « modèle moléculaire » proposé par le programme dans le sens de modèle particulaire devienne une source de confusion pour les élèves. En effet, en chimie, l'expression « modèle moléculaire » recouvre également une autre signification : celle d'une maquette (couramment utilisée au collège) constituant une représentation matérielle d'une molécule (ou plus récemment, une image en trois dimensions que l'on peut faire tourner grâce à l'ordinateur). Puisqu'une molécule est faite d'atomes, on représente habituellement ces différents atomes comme des sphères dures en bois, métal ou plastique, de couleurs conventionnelles, réunies par des tiges rigides ou des ressorts figurant les liaisons et vibrations moléculaires. Le modèle moléculaire ainsi constitué réunit les informations structurales dont on dispose sur une molécule : la distance entre les centres des sphères représente la distance réelle entre les noyaux des atomes, que l'on détermine par diffraction des rayons X par exemple. Les programmes utilisent d'ailleurs également l'expression « modèle moléculaire » avec cette dernière signification, entretenant par là même la confusion.

### 3.3 À quel âge les enfants sont-ils capables d'aborder le domaine microscopique ?

Le programme de chimie 2006 reporte à la classe de 4<sup>e</sup> le recours à l'utilisation des modèles microscopiques. Le rapport Bach (2003) explique la raison de ce report : « En classe de 4<sup>e</sup>, les capacités cognitives reconnues pour les élèves de cet âge permettent d'aborder valablement

les modèles microscopiques, les connaissances mathématiques disponibles (puissances de dix) permettant notamment de se représenter les dimensions de la molécule et de l'atome. Le modèle moléculaire peut être étayé à ce niveau non plus seulement par l'exemple de l'eau, mais aussi par celui de l'air, ce qui correspond à une démarche scientifique plus satisfaisante ».

On peut cependant s'interroger sur le bien-fondé de ce décalage. En effet, il ne nous semble pas impossible d'introduire le modèle particulaire dès la classe de 5<sup>e</sup>. Depuis les programmes 1997, de nombreux enseignants, à l'instar du document d'application pour la classe de 5<sup>e</sup> (1997), largement inspiré des travaux de Chomat, Larcher et Méheut (1988), ont pu le faire sans difficulté. C'est, nous semble-t-il, une étape préalable naturelle à l'introduction, les années suivantes, des différentes acceptions de ce terme fondateur : molécule, atome, ion. D'autre part, le programme de sciences de la vie et de la Terre introduit la notion de cellule dès la classe de 6<sup>e</sup>, et même les notions de globule rouge, spermatozoïde, ovule, etc. dès le cycle 3 de l'école primaire ! Les capacités cognitives reconnues des élèves sont-elles différentes d'une discipline à l'autre ?

En fait, l'utilisation du modèle particulaire ne nécessite absolument pas la maîtrise des puissances de 10. On est par ailleurs en droit de se demander si cette maîtrise des puissances de 10 permet véritablement de se représenter des dimensions de l'ordre du millième de micromètre !

Par ailleurs, on trouve dans les idées directrices des programmes 1997 (*BOEN* hors-série n° 1 du 13 février 1997) tout comme dans l'introduction générale des programmes 2006 des collèges (*BOEN* hors-série n° 5 du 25 août 2005) un argument venant appuyer l'idée de l'inutilité de connaissances mathématiques poussées dans ce domaine particulier : « L'étude de la matière et de ses transformations est par excellence le domaine du raisonnement qualitatif où il s'agit en général moins de savoir utiliser des outils mathématiques que de déceler, sous le phénomène complexe, les facteurs prédominants. Le qualitatif n'est pas la solution de facilité : il est beaucoup plus aisé d'effectuer un calcul juste que de tenir un raisonnement pertinent ».

Les enfants accèdent facilement à l'idée de particule microscopique (invisible à l'œil nu). Le programme 1997 pointait d'ailleurs le caractère relatif du concept d'homogénéité dans la mesure où l'aspect de la matière dépend de l'échelle d'observation : « On pourra approfondir le concept d'homogénéité en montrant son caractère relatif dans la mesure où l'aspect de la matière dépend de l'échelle d'observation. Un exemple simple qui a inspiré les philosophes de l'Antiquité est celui d'une plage de sable dont le caractère granulaire n'apparaît qu'à l'observation rapprochée. C'est l'extrapolation de cette idée vers le domaine microscopique qui est à l'origine de l'hypothèse atomique ».

Afin de rendre intelligible le monde, le physicien est amené à construire et utiliser des modèles. Conformément aux indications des programmes, il a semblé également utile de développer cette activité chez les enfants et la preuve de l'intérêt des activités de modélisation à l'école n'est plus à faire. Ainsi, l'enseignement scientifique moderne accorde une part non négligeable à l'enseignement des modèles, en particulier le modèle particulaire. Mais pourquoi attendre la 4<sup>e</sup> pour l'introduire ? Dans de nombreux pays (Danemark, Écosse, Angleterre, Pologne, etc.), des modèles particuliers sont introduits avec succès dès les premières années d'enseignement (Chomat *et al.*, 1988).

Nous avons mis en évidence les hésitations et contradictions des divers auteurs des programmes relatifs aux aspects macroscopiques et microscopiques de la matière. Il nous semble cependant que deux nécessités traversent ces programmes ; la première concerne l'aspect modélisation, dont elle souligne l'importance alors que la seconde, plus récente, renvoie à la présentation d'une science moins coupée de ses racines historiques. Le rôle de la modélisation est essentiel et si l'enseignement des sciences physiques revient souvent à des activités de modélisation, paradoxalement, les programmes ne proposent pas de véritables activités de modélisation. Nous faisons l'hypothèse que cela est possible, en utilisant justement certains éléments d'histoire des sciences ; c'est ce que l'on suggère avec la séquence proposée dans la partie suivante.

## **4 SUGGESTION D'UNE SÉQUENCE « INSPIRÉE » PAR L'HISTOIRE DES SCIENCES**

Cette séquence d'enseignement s'organise selon trois séances susceptibles d'être menées en classe de 4<sup>e</sup>. La première séance permet d'aborder la notion de modèle, la seconde permet de découvrir deux conceptions de la matière qui se sont longuement opposées dans l'Histoire. La troisième séance permet de débattre au sujet de la controverse relative à ces deux conceptions puis de s'approprier le modèle actuellement reconnu. Pour chaque séance nous précisons les objectifs visés et proposons un scénario pour la classe. Enfin, à destination des enseignants, un bref historique indiquant quelques « temps forts » de l'histoire de l'atome a été rédigé.

Il nous a semblé difficile d'aborder ces notions en utilisant des ressources primaires qui auraient nécessité de retirer des textes d'Aristote par exemple, des extraits complets, précis tout en étant suffisamment simples pour des élèves du collège. Aussi, nous avons fait le choix de construire des textes concis permettant de retracer quelques aspects de l'évolution des idées dans le domaine.

C'est en ce sens que la séance que nous proposons n'est pas une séance d'histoire des sciences mais qu'elle est « inspirée » par l'évolution des idées qui l'ont traversée.

## 4.1 Présentation et analyse du déroulement des séances

### *Séance 1 – Qu'est ce qu'un modèle ?*

Objectifs de la séance :

- Première approche de la notion de modèle en science :
- savoir qu'un modèle n'est pas la réalité mais une représentation de cette dernière,
- savoir qu'un modèle est utile : il décrit, explique, permet de prévoir.

### **Activités**

Étape 1 : Travail à partir du texte « Les aveugles et l'éléphant<sup>3</sup> ». Les élèves, par groupes de 4 ou 5 disposent d'un document (Fiche élève 1, document 1) présentant le texte et les questions auxquelles ils doivent répondre. Prévoir pour chaque groupe une feuille de format A3 ainsi que des feutres.

#### **Les aveugles et l'éléphant**

Six hommes d'Hindoustan, très enclins à parfaire leurs connaissances allèrent (bien que tous fussent aveugles) « voir » un éléphant afin que chacun, en l'observant, puisse satisfaire sa curiosité.

Le premier s'approcha de l'éléphant et perdant pied, alla buter contre son flanc large et robuste. Il s'exclama aussitôt : « Mon Dieu ! Mais l'éléphant ressemble beaucoup à un mur ! »

Le second, palpa une défense, s'écria : « Ho ! Qu'est-ce que cet objet si rond, si lisse, si pointu ? Il ne fait aucun doute que cet éléphant extraordinaire ressemble beaucoup à une lance ! »

(3) Cette première séance est inspirée du travail de France Garnier « Les atomes et l'aveugle » (<http://www.apsq.org/sautquantique/>)

Le troisième s'avança vers l'éléphant et, saisissant par inadvertance la trompe qui se tortillait, s'écria sans hésitation : « Je vois que l'éléphant ressemble beaucoup à un serpent ! »

Le quatrième, de sa main fébrile, se mit à palper le genou. « De toute évidence, dit-il, cet animal fabuleux ressemble à un arbre ! »

Le cinquième toucha par hasard l'oreille et dit : « Même le plus aveugle des hommes peut dire à quoi ressemble l'éléphant ; nul ne peut me prouver le contraire, ce magnifique éléphant ressemble à un éventail ! »

Le sixième commença juste à tâter l'animal, la queue qui se balançait lui tomba dans la main. « Je vois, dit-il, que l'éléphant ressemble beaucoup à une corde ! »

Ainsi, ces hommes d'Hindoustan discutèrent longuement, chacun faisant valoir son opinion avec force et fermeté. Même si chacun avait partiellement raison, tous étaient dans l'erreur.

John Godfrey Saxe, poète américain (1816-1887)

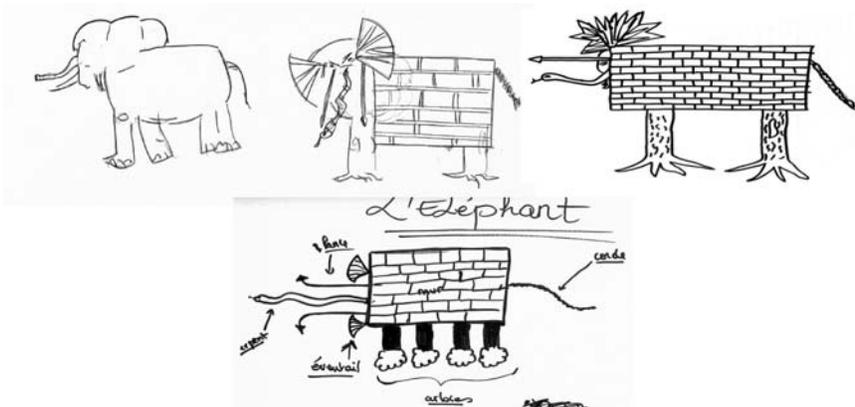
Question 1 : À partir de l'ensemble des observations effectuées, dessinez l'éléphant tel qu'il est perçu par les aveugles.

Question 2 : Ce dessin est-il la réalité ? Pourquoi ?

Question 3 : Ce dessin est appelé un *modèle* c'est-à-dire une représentation de la réalité, quel peut être son intérêt ?

Document 1

Étape 2 : Travail de mise en commun avec affichage des dessins obtenus (voir Document 2)



Document 2

Le maître engage le débat en incitant les élèves à relever les points communs et les différences entre les divers dessins et leur adéquation avec les directives du texte. Il discute ensuite la question 2 qui permet d'aborder les notions de réalité et de représentations qu'il est possible d'en donner. En particulier si chacun s'accorde sur le fait que le dessin n'est pas « la réalité » et que cette dernière est unique, il est possible de qualifier de « représentation » le point de vue des aveugles. Par ailleurs la question 3 permet d'interroger la fonction du modèle : quel peut être l'intérêt de représenter un éléphant en associant un mur, des arbres ? Le modèle permet ici de décrire mais également de dégager certaines propriétés, il permet d'expliquer (c'est parce qu'il est constitué d'un mur que l'éléphant est très solide), et a de ce fait une valeur heuristique incontestable. Le maître pourra enfin orienter les élèves vers l'aspect prédictif du modèle. Grâce aux connaissances données par le modèle, qu'est-il possible de prévoir quant au comportement de l'éléphant (mobilité, mode d'alimentation...) ?

### ***Analyse du déroulement de la séance***

Cette séance a donné lieu à une expérimentation menée en classe. C'est la phase de débat qui suit la lecture du texte et la réalisation du dessin dont nous retraçons ici les étapes significatives, celles où ont été débattues les notions de « réalité » ainsi que celles liées à une « représentation de la réalité ».

Si la question « ce dessin est-il la réalité ? » semble impliquer une réponse sans ambiguïté indiquant que les éléphants ne ressemblent que de très loin à ce qui a été dessiné par les élèves, le maître constate des hésitations de la part de ces derniers. Certains répondent « non, bien sûr » car ils savent qu'un éléphant n'est pas fait ainsi alors que d'autres se placent du côté des aveugles : « si nous étions aveugles, alors c'est comme cela que nous verrions l'éléphant » Cette dernière intervention permet de discuter la question de point de vue et certains élèves formulent la proposition suivante : « ce n'est pas la réalité pour nous, mais c'est la réalité pour les aveugles ». Le maître peut alors demander s'il existe plusieurs réalités, celle des aveugles et la nôtre. Cette question délicate ne semble pas perturber les élèves qui s'appuient sur l'exemple du texte pour argumenter : « Nous voyons l'éléphant de cette manière, les aveugles le voient d'une autre manière ». Un consensus semble se dégager dans la classe : il y a donc plusieurs manières de voir la réalité. Un des élèves perplexe bute sur le mot « voir », car, précise-t-il, les aveugles ne voient pas. Il demande alors « la vision et l'imagination, ce n'est pas la même chose ? ». Après discussion sur les termes « voir » et « imaginer », le groupe décide de changer le « voir » des aveugles : le dessin de l'éléphant est ce que les aveugles imaginent de l'éléphant.

À cette étape l'enseignant introduit le mot « représentation » (c'est comme cela que les aveugles se représentent les éléphants) et indique qu'en sciences, on utilise aussi le terme de « modélisation » : un modèle, comme celui de l'éléphant dessiné par les aveugles, est une représentation de la réalité mais n'est pas la réalité elle-même.

La dernière étape est en lien avec la question 3, l'enseignant aborde l'intérêt de la modélisation : « Pour les aveugles, en quoi est-ce intéressant de disposer d'un tel modèle de l'éléphant ? ». Il n'a pas été facile de faire émerger cet intérêt, c'est le maître qui a dû suggérer un certain nombre d'éléments : « Un aveugle pourra à l'aide de ce modèle prévoir certains comportements de l'éléphant : s'il fonce sur l'éléphant, il s'écrasera dessus comme contre un mur ; si l'éléphant lui court après, il pourra être percé par les lances ». Il engage les élèves à trouver d'autres illustrations significatives du caractère prédictif du modèle.

### ***Séance 2 – La matière est-elle continue ou discontinue ? Les modèles de Démocrite et d'Aristote.***

Objectifs de la séance :

Être capable de s'approprier un modèle d'après un texte, de le transposer (textes et schémas) et de l'exposer oralement.

#### ***Activités***

Au V<sup>e</sup> siècle avant Jésus-Christ, dans la Grèce antique, des philosophes s'interrogent sur la nature de la matière. De quoi sont faits le ciel, la mer et les choses si différentes qui nous entourent ? Comment se fait-il qu'une même matière, l'eau par exemple, puisse exister sous des états différents (la glace, l'eau liquide et la vapeur) ? Que devient le sucre lorsqu'il se dissout dans de l'eau ? A-t-il entièrement disparu ?

Démocrite et Aristote penseurs de cette époque se posèrent ces questions mais leurs réflexions ont abouti à des modèles différents de la matière.

Précisons que ces théories sur la continuité ou la discontinuité de la matière des grecs sont basées sur des réflexions. Elles ne sont pas le fruit d'une démarche expérimentale telle que nous la pratiquons de nos jours. Mais ce sont ces réflexions qui ont servi de base à la science : le désir d'expliquer rationnellement le monde dont nous faisons partie.

### Texte 1 : **Le modèle de Démocrite**

Démocrite affirme que la matière est discontinue et qu'elle est composée de particules indivisibles. Ainsi, selon son idée, si l'on divisait un bijou en argent en petits morceaux de plus en plus petits, il arriverait un moment où l'on n'y parviendrait plus ; on obtiendrait alors un minuscule morceau incassable et indivisible et qui aurait encore toutes les propriétés de l'argent. Ce petit morceau ou cette particule serait tellement petit qu'il nous serait impossible de le voir à l'œil nu. Toutes les particules sont indivisibles et incassables mais elles ont des formes différentes : en les regroupant elles forment tous les objets que nous voyons autour de nous. Voici donc le modèle (c'est-à-dire la représentation ou l'image) de la matière proposé par Démocrite. Avec son modèle, Démocrite peut expliquer les changements d'état de la matière. Ainsi ce sont les mêmes particules qui forment l'eau, que celle-ci soit solide, liquide ou gaz. Mais ces particules sont plus ou moins rapprochées les unes des autres, voici ce qui explique cette différence d'état. Et qu'est devenu le sucre une fois dissous dans de l'eau ? Il n'a pas disparu, mais les particules de sucre se sont mélangées aux particules d'eau, elles se sont glissées entre les particules de l'eau. Si nous étions capables de voir, si notre vue était suffisamment perçante, nous ne verrions pas de l'eau sucrée, mais des particules de sucre mêlées à des particules d'eau.

À partir de ce texte essaye de dessiner la matière telle que l'imaginait Démocrite. Ton affiche doit expliquer le modèle de Démocrite à un visiteur ignorant tout de ce sujet !

### Texte 2 : **Le modèle d'Aristote**

Aristote affirme que la matière est continue : elle remplit complètement l'espace qu'elle occupe. Il n'y a pas de trous dans la matière.

La matière est formée à partir de quatre corps simples : la terre, l'eau, l'air et le feu. Chacune de ces substances est à son tour regardée comme une combinaison de deux des quatre qualités opposées suivantes : le chaud, le froid, le sec et l'humide. Ainsi la terre est sèche et froide, l'eau chaude et humide, l'air sec et chaud et le feu chaud et sec. Toutes les autres substances proviennent de ces quatre corps simples. Ainsi pour Aristote, le fait de chauffer de l'eau – froide et humide – permet d'obtenir un élément – chaud et humide –, soit de l'air ! À l'inverse, le refroidissement de l'air conduit pour lui à l'obtention d'eau.

Voici donc le modèle (c'est-à-dire la représentation ou l'image) de la matière proposé par Aristote. Ce dernier suggère par exemple que les substances qui durcissent au froid mais qui fondent au feu sont principalement constituées d'eau alors que celles qui durcissent au feu sont principalement composées de terre. Ces quatre substances contribuent à remplir l'univers d'Aristote qui est « plein » de matière.

À partir de ce texte essaye de dessiner la matière telle que l'imaginait Aristote. Ton affiche doit expliquer le modèle d'Aristote à un visiteur ignorant tout de ce sujet

### Document 3 : **Les théories sur la continuité et la discontinuité de la matière dans la Grèce antique**

Étape 1 : Pour cette séance, les élèves sont répartis en groupes de 3 ou 4 élèves. La moitié des groupes reçoit le texte 1 décrivant le modèle de Démocrite, l'autre moitié travaille sur le texte 2, le modèle d'Aristote (Fiche élève 2, document 3)

La consigne est la même pour tous les groupes : réaliser une affiche de format A2 qui explique chacun des modèles. Cette affiche doit non seulement être représentative, mais aussi explicative. Les élèves doivent comprendre qu'elle est destinée à un « visiteur » éventuel ignorant tout du sujet.

Étape 2 : Les affiches sont exposées et un représentant de chaque groupe est invité à venir la présenter et la commenter à la classe (voir Document 4), prélude à un débat animé par l'enseignant.

#### ***Analyse du déroulement de la séance***

Majoritairement les élèves travaillant à partir du texte de Démocrite s'orientent assez rapidement vers une modélisation prenant en compte la forme de la particule comme étant l'élément significatif de la diversité de la matière ; l'éloignement des particules indiquant quant à lui l'état la matière : « Il y a des particules de formes différentes, elles sont plus proches ou plus éloignées si par exemple l'eau est de la glace ou de l'eau » (justification de Sarah).

Par contre, la majorité des élèves travaillant sur le modèle d'Aristote sont mis en difficulté pour représenter la matière et expriment la volonté de comparer leur texte à celui des autres groupes. Finalement chaque groupe travaille les deux textes et produit deux schémas.

Concernant le modèle d'Aristote, tous les schémas révèlent la compréhension d'une matière continue bien que certains dessins relèvent manifestement d'une conception seulement macroscopique (Sarah).

Majoritairement la continuité est affirmée oralement « Tout se touche, il n'y a pas de coupure » (Vincent).

Le travail de mise en commun permet également de préciser l'organisation des divers matériaux dans l'Univers. Ainsi, « Il y a de la terre et au dessus il y a l'air. Sur la terre il y a de l'eau et du feu » pour conclure « Il y a toujours quelque chose » réaffirmant ainsi la continuité de la matière.

Après une première partie dédiée à la présentation des dessins, l'enseignant engage un débat permettant une analyse comparative des deux modèles. En voici un extrait significatif.

Enseignant : « Quelles sont les différences entre les deux modèles ? »

S : « Pour Aristote, on ne voit pas bien ce qu'est la matière »

V : « Pour Démocrite ce sont des particules de formes différentes »

P : « Pour Aristote il y a de la matière partout... »

Enseignant : « Et pour Démocrite ? »

V : « C'est pareil mais il y a des particules différentes »

P : « La matière se coupe »

Enseignant : « Comment ? »

S : « En particules, par exemple l'eau... »

Enseignant : « Qu'est ce qu'il y a entre ces particules ? »

S : « ? »

P : « Rien »

Enseignant : « Qu'est ce que c'est *rien* ? »

D : « Rien, c'est quand il n'y a pas de particules »

P : « Rien, c'est le vide »

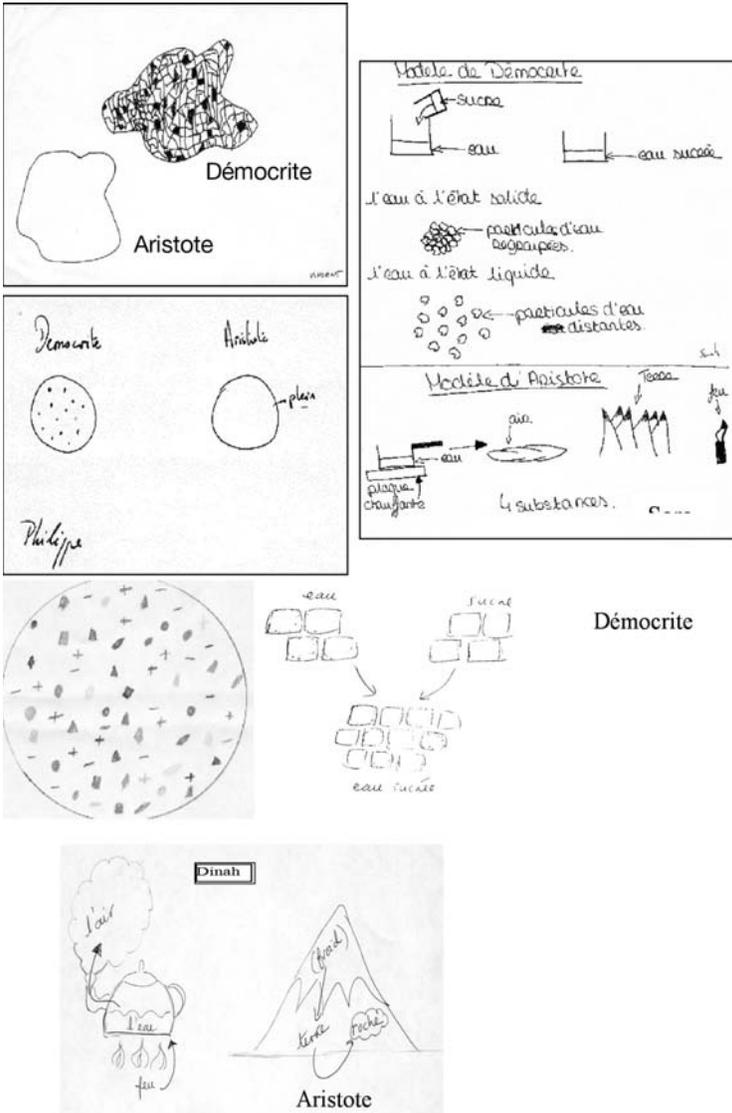
Cette deuxième étape de la séance a permis, en soulignant l'opposition des deux modèles, d'interroger la nature de matière (l'approche particulière ne va pas de soi), de discuter une première approche mettant en jeu les notions de continuité / discontinuité ainsi qu'une première étape permettant de discuter la place du vide sachant que cet aspect constitue un objectif central pour la suite de la séquence.

### **Séance 3 – Démocrite ou Aristote ?**

Objectifs de la séance :

Être capable d'interpréter un texte relatant une expérience historique

Être capable de comparer et critiquer deux modèles en repérant des indices pertinents afin d'argumenter.



Document 4 • Dessins d'élèves

**Déroulement et analyse**

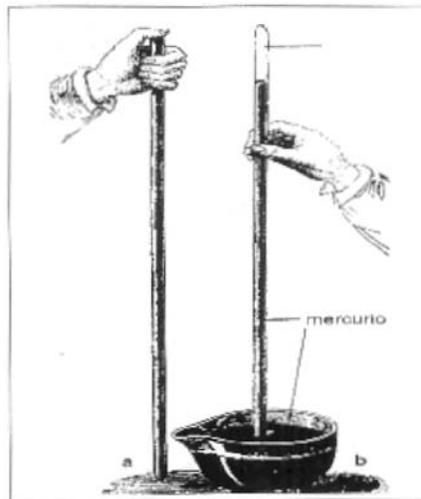
Étape préliminaire :

Il s'agit d'un travail que les élèves doivent réaliser à la maison. À partir du texte relatant l'expérience historique de Torricelli (cf. fiche élève 4,

Document 5), les élèves sont amenés à émettre une hypothèse en répondant à la question « Qu'y a-t-il dans le tube au dessus du mercure ? »

En 1643, Evangelista Torricelli (1608-1647), un élève du célèbre savant italien Galilée (1564-1642) est chargé de construire des fontaines pour le Grand Duc de Toscane et il constate l'impossibilité d'élever l'eau à plus de 10 mètres. Il émet l'hypothèse que c'est la pression atmosphérique qui équilibre la colonne d'eau. Il imagine alors de remplacer l'eau par du « vif argent » (le mercure), 14 fois plus dense que l'eau et prévoit que si son hypothèse est correcte le mercure devrait s'élever 14 fois moins que l'eau. Il remplit donc de mercure un long tube de verre qu'il renverse dans une cuve contenant également du mercure. Une partie du mercure du tube se vide dans la cuve mais une colonne d'environ 76 cm subsiste.

À ton avis, qu'y a t'il au dessus du mercure dans le tube ?



### Document 5 • Une expérience étonnante

Étape 1 :

En introduction de la séance l'enseignant procède à la confrontation des hypothèses émises par les élèves.

[Extrait]

Enseignant : « Qu'y a-t-il dans le tube au dessus du mercure ? »

S : « de l'eau ? »

Enseignant : « d'où vient cette eau ? »

S : « Elle est passée dans le mercure »

Enseignant : « Au début de l'expérience, qu'y avait-il dans la cuve ? »

S : « Du mercure »

Enseignant : « et c'est tout ? »

S : « Oui...alors, ce n'est pas de l'eau, c'est de l'air »

Plusieurs élèves acquiescent.

À ce niveau du débat, s'exprime la difficulté de penser l'absence de matière ainsi que la difficulté pour qualifier une hypothétique matière. De fait, après l'eau les élèves proposent la présence d'air dans le tube, l'aspect gazeux et incolore de ce gaz contribuant à la formulation de cette réponse.

Enseignant : « Vous dites qu'il y a de l'air au dessus du mercure, mais d'où provient cet air ? Où se situait-il au début de l'expérience ? »

Une nouvelle fois l'enseignant détaille les deux étapes de la séance à l'aide de schémas.

Enseignant : « Où y a-t-il de l'air ? »

D : « Au dessus du mercure »

S : « Dans le mercure, et c'est cet air qui se déplace jusqu'en haut du tube »

Enseignant : « Vous avez certainement déjà vu de l'air se déplacer dans de l'eau par exemple. Qu'avez-vous alors remarqué ? »

V : « Il y a des bulles, des bulles d'air »

S : « Là, il n'y a pas de bulles... donc, il n'y a pas d'air »

V : « Au dessus du mercure dans le tube, il n'y a pas de matière »

P : « Il n'y a rien, c'est le vide »

Cette étape préliminaire est importante car elle permet de débattre sur les propriétés de la matière, plus particulièrement celles attachées à l'air. Elle conduit progressivement les élèves à penser l'absence de matière. Elle constitue également un repérage historique et chronologique permettant de revoir, à la lueur d'un résultat expérimental, les modèles étudiés comparativement lors de la deuxième séance. Tel sera l'objet des dernières étapes (3 et 4) de cette séance, après un bref rappel des deux modèles étudiés (étape 2).

Étape 2 : Le groupe-classe observe les affiches de la séance précédente (séance 2 opposant le modèle de Démocrite à celui d'Aristote) et l'enseignant récapitule les résultats obtenus à l'aide de questions : « à votre avis, quelles sont les affiches qui représentent le mieux les modèles de Démocrite et d'Aristote ? »

Après discussion, les élèves éliminent les représentations qui ne font pas l'unanimité. On en retient au moins une significative de chacun des deux points de vue. Cette étape constitue un rappel permettant à chacun de se remémorer les principales différences entre les deux modèles.

Étape 3 : Question (orale) de l'enseignant : « Qu'est-ce qui divise ces deux théories ? Ont-elles cohabité ? Pendant combien de temps ? L'une d'elles a-t-elle été retenue ? »

Pour répondre à ces questions, la fiche élève 5 (Document 6) est distribuée aux élèves répartis par groupes de quatre. Après lecture, les élèves doivent répondre par écrit aux quatre questions posées à la fin du texte.

Étape 4 : Une mise en commun des écrits permet ensuite lors d'une phase orale et collective animée par l'enseignant de structurer le savoir en élaboration. Une phase d'institutionnalisation clôturera la séquence.

### Résumé de la séance précédente

Dans l'Antiquité grecque, deux théories sur la constitution de la matière se sont donc opposées : celle de Démocrite d'abord, selon laquelle la matière est discontinue, celle d'Aristote ensuite, selon laquelle la matière est, au contraire, continue.

Pourquoi ces théories s'affrontaient-elles ? Quel est leur « point d'achoppement » ?

Aristote rejette les particules de Démocrite car, dit-il, « nous ne pouvons ni les voir ni les toucher ». Il reproche également à Démocrite de multiplier les types de particules. En effet selon Démocrite il existe des particules de formes différentes ; mais combien y en a-t-il exactement ? Pour Aristote, cette incertitude est significative d'une erreur du modèle de Démocrite et il estime nécessaire d'expliquer toute la diversité du monde à partir de quelques éléments seulement. Finalement, c'est la théorie d'Aristote qui a prévalu et celle de Démocrite est restée dans l'oubli jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle.

*Coup de théâtre : le vide existe !*

De nombreux philosophes de l'Antiquité pensent qu'il est impossible de trouver du vide dans la nature parce que, disent-ils, « la nature a horreur du vide ». C'est le cas d'Aristote (384-322 avant J.-C.) pour lequel la matière remplit complètement l'espace. Aristote s'oppose en particulier à Leucippe (435 avant J.-C.) et à son disciple Démocrite (410 avant J.-C.) qui affirment qu'accepter l'existence des particules de matière nécessite d'accepter également celle du vide. L'idée d'Aristote a prévalu et la négation du vide s'est ainsi propagée au cours des siècles.

Au Moyen Âge, l'horreur supposée de la nature pour le vide est même érigée en dogme, tant et si bien que l'enseignement de l'existence du vide est interdit en 1277 par l'évêque de Paris. Ce n'est qu'au XIV<sup>e</sup> siècle que le philosophe français Jean Buridan ose affirmer que Dieu est capable de créer surnaturellement du vide.

Question 1 : En quoi les théories de Démocrite et d'Aristote sont-elles contradictoires ?

Question 2 : Que trouve-t-on entre les particules du modèle de Démocrite ? Les particules sont-elles immobiles ou peuvent-elles bouger ?

Question 3 : Explique le phénomène de vaporisation (changement d'état qui consiste à passer de l'état liquide à l'état gazeux) :

– à l'aide du modèle de Démocrite

– à l'aide du modèle d'Aristote.

Question 4 : À partir des différents textes étudiés, quel est, selon toi, le modèle le plus pertinent, c'est à dire celui qui explique le mieux la structure de la matière ?

#### Document 6 • Démocrite ou Aristote ?

[extraits]

Enseignant : « Depuis 1642, on sait avec Torricelli que le vide existe dans la nature. Comment, à votre avis, ce résultat a-t-il influencé les savants qui s'intéressaient à la constitution de la matière ? »

V : « On a vu qu'en haut du tube il y a du vide. Dans l'expérience, d'un côté il y a le vide et de l'autre la matière ; dans l'univers ça doit être pareil, d'un côté il doit y avoir du vide et ailleurs la matière. S'il y a de la matière quelque part, il n'y a pas de vide au même endroit. C'est Aristote qui a raison »

P : « Non, ce que montre Torricelli c'est que le vide existe, qu'il n'y a pas toujours de matière comme dans l'idée d'Aristote »

Enseignant : « Êtes-vous d'accord avec p. lorsqu'il affirme que le vide n'existe pas pour Aristote ? »

S : « Oui, pour lui *l'univers est plein de matière* », S. cite un extrait de l'un des textes étudiés pour conclure à propos d'Aristote : « C'est obligé, il se trompe »

Enseignant : « Pourquoi ? »

P : « Car on sait que le vide existe : s'il y a de la matière, il n'y a pas de vide »

Enseignant : « Et si c'est de l'air ? »

S : « C'est pareil, parce que l'air c'est de la matière »

Lors de cette discussion l'enseignant a conduit les élèves à invalider le modèle d'Aristote à partir du résultat expérimental obtenu par Torricelli. Il convient désormais de confronter ce résultat au modèle de Démocrite.

Enseignant : « Si le vide existe dans le modèle de Démocrite, où se trouve-t-il ? »

S : « Tout autour de la matière »

P : « Soit il y a de la matière, soit il n'y en a pas et alors c'est le vide »

Enseignant : « Comment Démocrite se représente-t-il la matière ? »

S : « Ce sont des ronds, ou des points, etc. des formes différentes »

Enseignant : « Et que trouve-t-on entre ces points ou autres formes que l'on pourrait nommer particules ? »

P : « Rien, pas de matière, c'est le vide »

Cette dernière étape nous a semblé importante avant d'engager un travail plus élaboré sur la constitution de la matière. En effet, la construction d'une approche discrète pour la matière engage à mener une réflexion sur l'absence de cette dernière et participe à aider les élèves lorsqu'ils abordent un point de vue microscopique. En particulier cette approche devrait permettre d'éviter la proposition selon laquelle entre les particules... on trouve de l'air.

En définitive, cette séquence, conformément aux instructions officielles, vise à appréhender la notion de modèle tout en inscrivant les concepts abordés dans un contexte historique. D'autre part, la controverse suscitée lors de la troisième séance permet à l'enseignant d'initier un débat « scientifique » avec la nécessité pour les élèves d'argumenter en avançant des preuves, et de confronter leurs opinions à celles de leurs pairs. Cette approche permet aux élèves de découvrir que les questions successives qui se sont posées dans l'histoire se rapprochent parfois de leurs propres interrogations. Elle permet également de discuter le statut de l'erreur en montrant que la science s'est construite grâce aux tâtonnements successifs, aux erreurs et remises en cause et permet de discuter la place de l'expérience dans la démarche.

## CONCLUSION

Comme nous l'avons mis en évidence, les différents programmes proposés depuis 1977 ne semblent pas procéder d'une logique permettant d'introduire simplement et sans ambiguïté les concepts de base de la chimie. En particulier, la confusion entre modèle particulaire et modèle moléculaire relevée dans les programmes est susceptible de constituer un obstacle à l'acquisition de ces concepts. Afin de palier cette difficulté, il nous a semblé important de démarrer l'apprentissage par l'introduction du modèle particulaire, « brique élémentaire » dont la construction de tous les autres concepts se déduit.

Le choix d'une référence historique est ici prétexte à faire naître, chez les élèves, un questionnement indispensable à la construction et à l'appropriation des concepts. Dès lors, la perspective historique sur le mode de la controverse permet d'interroger le statut de l'erreur, incite à développer des arguments pour convaincre ainsi que des éléments de preuve, et engage une contextualisation des savoirs.

Il nous semble que cette approche, « inspirée » de l'histoire des sciences ou mieux encore fondée sur cette dernière, pourrait être généralisée à d'autres concepts afin de montrer que la science est une construction en évolution permanente et pour éviter une approche trop dogmatique d'une science déshumanisée.

## BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin. 1938.
- BACH J.-F. (2003), *Rapport du Groupe de relecture des programmes du collège, pôle des sciences*.  
[http://www.ac-miens.fr/pedagogie/associations/udppc/IMG/pdf/Rapport\\_Bach.pdf](http://www.ac-miens.fr/pedagogie/associations/udppc/IMG/pdf/Rapport_Bach.pdf)
- BARLET R. (1999). L'espace épistémologique et didactique de la chimie. *L'actualité chimique*, avril 1999, p. 22-33.
- BARLET R. & PLOUIN D. (1997). La dualité microscopique-macroscopique, un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. *Aster*, n° 25, p. 143-174.
- BARLET R. & PLOUIN D. (1994). L'équation bilan en chimie. Un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *Aster*, n° 18, p. 27-55.
- BALIBAR F. & BENSUADE-VINCENT B. (1999). Atome. In D. LECOURT *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, PUF.
- BALIBAR F. (1999). Corpuscule. In D. LECOURT *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, PUF.
- CHOMAT A., LARCHER C. & MEHEUT M. (1988). Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*, n° 7, p. 143-184.
- DAGOGNET F. (1999). Matière. In D. LECOURT *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, PUF.
- DUMON A. & LAUGIER A. (2004). L'équation de réaction : approche historique et didactique de la modélisation de la transformation chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 866, p. 1131-1144.
- FILLON P. (1991). Histoire des sciences et réflexions épistémologiques des élèves. *Aster*, n° 12, p. 91-120.
- JANDALY J. (2003). *Textes illustrés d'histoire des sciences pour les élèves de collège, physique-chimie*. CRDP de Haute-Normandie, p. 21-28 ; 67-71 ; 84-93.
- KOUNELIS C. (1999). *Molécule*. In D. LECOURT *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, PUF.
- LAGARRIGUE (1977). Conclusions des travaux de la commission Lagarrigue déposées en mars 1976, *Livre du professeur – sciences physiques – 6<sup>e</sup> collèges*, Collection Libres Parcours, Hachette.

LAUGIER A., DUMON A., (2000), Histoire des sciences et modélisation de la transformation chimique en classe de seconde, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 826, p. 1261-1284.

MARTINAND J.-L., VIOVY R., (1979), La notion d'élément chimique en classe de 5<sup>e</sup>: difficultés, ressources et propositions, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 613, p. 878-884.

SHAPIN S. (1996). *The scientific revolution*, The University of Chicago Press. Traduction française par C. Larssonneur, *La révolution scientifique*, Flammarion, Paris, 1998.

RUBRIQUE COLLEGE « autour d'un thème ». (2000). Le modèle particulière. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 826, p. 1339-1392.

## Bulletins officiels

*BOEN* n° 11 du 24 mars 1977, Objectifs, programmes et instructions pour les classes de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>

*BOEN* n° spécial 4 bis du 11 janvier 1979, sciences physiques, programmes et instructions pour les classes de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>

*BOEN* n° 44 du 12 décembre 1985 in : Programmes et instructions, 1985, coéd. CNDP et Livre de Poche.

*BOEN* n° 31 du 30 juillet 1992 physique – chimie – classes des collèges – 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> – éd. CNDP – 1994

*BOEN* n° 41 du 2 décembre 1993 in : physique – chimie – classes des collèges – 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> – éd. CNDP – 1994

*BOEN* Hors-série n° 1 du 13 février 1997, Programmes du cycle central 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup>, 1997, livret 1, CNDP.

*BOEN* Hors série n° 10 du 15 octobre 1998 in : *Programmes de 3<sup>e</sup>, 1999, physique chimie*, collection collège, CNDP.

*BOEN* Hors-série n° 5 du 25 août 2005, Programmes des enseignements de mathématiques, de sciences de la vie et de la Terre, de physique-chimie pour les classes du cycle central du collège (classes de cinquième et de quatrième).

## Documents d'accompagnement des programmes

Document d'accompagnement du programme de chimie de la classe de quatrième (GTD mai 1993)

Document d'accompagnement du programme de chimie de la classe de 3<sup>e</sup> (GTD mars 1994)

Accompagnement des programmes de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup>, 1997, livret 3, collection collège, CNDP

Accompagnement des programmes de 3<sup>e</sup>, 1999, livret 3, collection collège, CNDP.





## **Exploitation didactique de l'histoire des sciences dans une perspective de formation à l'enseignement des sciences**

**Didactic use of the history of science  
in the context of teaching of science**

**Explotación didáctica de la historia  
de las ciencias en una perspectiva de formación  
en la enseñanza de las ciencias.**

**Didaktische Anwendung der  
Wissenschaftsgeschichte in Zusammenhang  
mit der Ausbildung zum Unterrichten der  
Wissenschaften**

**Mourad MADRANE et Mohamed KHALDI**

Laboratoire des nouvelles technologies éducatives École normale supérieure,  
Tétouan, Maroc.  
madrane2000@yahoo.fr – medkhaldi@yahoo.fr

**Mohammed TALBI**

LIRADE-TIE Faculté de sciences Ben M'sik Casablanca, Maroc.  
maarifcentre@yahoo.fr

## **Résumé**

*L'article vise à présenter la conception, l'élaboration et la mise en œuvre d'un module de formation structuré à partir d'éléments d'histoire des sciences. Des faits historiques ont servi à dégager des implications didactiques mises à profit dans une optique de formation à l'enseignement des sciences.*

*Cet article rend compte également d'une appréciation sommaire des retombées de ce module de formation après la deuxième année de sa mise en œuvre.*

**Mots clés :** *Histoire des sciences, Formation à l'enseignement des sciences, Implications didactiques, Module de formation.*

## **Abstract**

*This article aims to introduce the conception, the elaboration, and the implementation of a structured module based on notions drawn from the history of science. Historical facts serve to press forward the didactic implications gained from the perspective of teaching science. This article likewise proffers a brief evaluation of the results of this module after two years of its inception.*

**Key words:** *History of science, training in the teaching of science, didactic implications, training module.*

## **Resumen**

*El artículo pretende presentar la concepción, la elaboración y la puesta en práctica de un módulo de formación estructurado a partir de elementos de historia de las ciencias. Hechos históricos se han utilizado para extraer implicaciones didácticas aprovechadas en una óptica de formación en la enseñanza de las ciencias.*

*Este artículo da cuenta igualmente de una evaluación sumaria de las consecuencias de este módulo de formación después de dos años de puesta en práctica.*

**Palabras clave:** *historia de las ciencias, formación en la docencia de las ciencias, implicación didáctica, módulo de formación.*

## **Zusammenfassung**

*Der Artikel zielt darauf ab, die Entwicklung, die Ausarbeitung und die Umsetzung eines Ausbildungsseminars vorzulegen, das aus wissenschaftsgeschichtlichen Elementen strukturiert wurde. Auf Grund*

*historischer Tatsachen konnte man didaktische Folgen in einer Perspektive der Ausbildung zum Lehren der Wissenschaften unterscheiden.*

*Dieser Artikel berichtet auch über eine zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse dieses Seminars zwei Jahren nach seiner Einführung.*

**Schlüsselwörter:** *Wissenschaftsgeschichte, Ausbildung zum Unterrichten der Wissenschaften, didaktische Folgen, Ausbildungsseminar.*

## INTRODUCTION

Malgré les efforts déployés dans le domaine de l'enseignement des sciences, les retombées de cet enseignement sont limitées par rapport aux buts assignés à cet enseignement (Piaget, 1972 ; Giordan, 1978 ; Désautels, 1980 ; Astolfi *et al.*, 1984 ; Giordan et de Vecchi, 1987 ; Johsua et Dupin, 1993). Selon Melhaoui *et al.* (2004), les taux d'échec et d'abandon d'étudiants dans les universités marocaines sont élevés, seulement 10 % des étudiants d'une promotion obtiennent leur licence en quatre ans. D'après une enquête<sup>1</sup> officielle, ce problème touche toutes les tranches d'âge entre 15 et 29 ans, aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural. D'autres constats, tel que le niveau des bacheliers à l'arrivée de l'université ou les profils de sortie proposés par l'université non compatibles avec les compétences sollicitées par le marché de l'emploi, témoignent d'un enseignement universitaire en échec.

Le souci d'améliorer cet enseignement est un objectif prioritaire pour tout pays car l'enseignement des sciences occupe une place de choix comme levier de développement (Hulin, 1992). Il convient de souligner que dans ce système d'enseignement des sciences, l'enseignant joue un rôle important car il est le seul à pouvoir concrétiser des projets d'enseignement en actions éducatives effectives et efficaces. Cela implique qu'il possède des compétences disciplinaires et didactiques. Bien entendu, d'autres paramètres sont à prendre en considération pour instaurer les conditions favorables à la mise en œuvre de projets d'enseignement efficaces.

Le développement de ces compétences disciplinaires et didactiques passe par la formation à l'enseignement des sciences qui mérite un investissement important en termes de recherches et de budgets. Au Maroc, les changements relatifs à la formation sont rares et ponctuels, les réformes touchent principalement les programmes, les manuels scolaires, les filières, les procédés d'évaluation et les aspects institutionnels ou organisationnels. L'analyse et l'évaluation des programmes et des procédés de formation sont rarement retenues

---

(1) Enquête réalisée auprès de 18 010 jeunes au cours des mois d'avril à juillet de l'année 2001 par le ministère de la Jeunesse et des Sports du Maroc.

comme axes de recherches prioritaires dans la problématique générale de l'enseignement des sciences au Maroc. Le système de formation évolue exceptionnellement. Il est stabilisé à cause des pratiques classiques bien établies, des attitudes de résistance et des contraintes institutionnelles. La grande réforme de l'enseignement en cours comporte peu de "clauses" aptes à opérer des changements significatifs au niveau de la formation à l'enseignement des sciences. D'une part, l'application des principes et des orientations de la charte nationale de l'éducation et de la formation de 1999 ne semble pas modifier profondément ces pratiques bien ancrées de formation à l'enseignement des sciences, d'autre part la réforme de l'université engagée depuis l'année académique 2002-2003 semble avoir un impact très limité sur les procédés de formation en cours. Il y a lieu de préciser que le recours récurrent à de telles pratiques peut être également expliqué par l'incapacité des formateurs à monter et à mettre à l'essai des pratiques alternatives de formation.

De plus en plus un consensus existe sur le fait que c'est l'apprenant qui structure, organise et construit ses connaissances (Giordan *et al.*, 1978 ; Giordan et Martinand, 1989) ; il change de culture et procède à un dépassement d'obstacles (Bachelard, 1972). L'engagement d'enseignants dotés de compétences disciplinaires et didactiques est la condition sine qua non pour développer ce contexte didactique favorable. D'où la nécessité de concevoir des projets de formation innovants susceptibles de développer ces compétences chez le futur enseignant afin de préparer les conditions d'un enseignement des sciences de qualité en rapport avec les objectifs de développement.

## **1 PLACE DE L'HISTOIRE DES SCIENCES DANS LES PROGRAMMES DE FORMATION À L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE**

Nous avons cherché à apprécier la place de l'histoire des sciences à travers une analyse<sup>2</sup> de quelques programmes de formation à l'enseignement des sciences en vigueur dans quelques ENS<sup>3</sup> et CPR<sup>4</sup> au

---

(2) Une analyse qui n'était fondée sur une grille explicite mais visait plutôt une appréciation sommaire de la dimension historique dans quelques programmes de formation à l'enseignement des sciences. Une analyse fine de ces programmes ne constituait nullement un objectif majeur du travail entrepris.

(3) ENS : École normale supérieure (centre de formation des enseignants du lycée).

(4) CPR : Centre pédagogique régional (centre de formation des enseignants du collège).

Maroc (Annexe 1). L'analyse sommaire entreprise permet de distinguer les programmes suivants :

- des programmes qui n'accordent aucune place à l'histoire des sciences (CPR de Derb Ghalef de Casablanca, 1990-1991 ; 1991-1992 et 1992-1993) ; (CPR de Fès, 1992-1993) ;

- des programmes qui mentionnent le recours à l'histoire des sciences mais ne donnent aucune indication sur la façon de mettre en œuvre des éléments historiques dans le cadre de la formation à l'enseignement des sciences (CPR de Rabat, 1990-1991 ; ENS Tétouan ; ENS Fès ; ENS Marrakech) ;

- un programme qui suggère une référence à l'histoire des sciences, mais préconise le recours à des livres d'histoire des sciences qui n'auraient pas, selon nous, un rôle formateur compte tenu du type d'histoire des sciences proposé (Rostand, 1945 ; Théodoridès, 1965). C'est le cas du programme du CPR de Fès pour l'année académique 1992-1993 ;

- un programme qui suggère une référence à l'histoire des sciences en fournissant des explications pertinentes sur une mise en œuvre d'éléments historiques pour concevoir et construire des procédés de formation à l'enseignement des sciences. C'est le cas du programme du CPR de Derb Ghalef de Casa Anfa pour l'année académique 1993-1994.

À cause de contraintes temporelles ou pour des raisons institutionnelles, les éléments historiques ne font plus partis des procédés de formation à l'enseignement des sciences. La formation est centrée sur l'élaboration des leçons, les conduites à tenir en classe de science ainsi que les stages pratiques. La conception qui sous tend ce type de formation est à mettre en relation avec l'idée que le savoir scientifique serait un ensemble d'idées « claires » et « évidentes » que l'on peut transmettre par le biais d'un discours, de représentations graphiques, symboliques ou mathématiques et d'expériences.

Du fait que l'enseignement des sciences de la vie et de la terre vise principalement la présentation scolaire de concepts scientifiques, une formation à cet enseignement nous paraît être l'occasion d'approcher certaines problématiques telles que :

- Qu'est-ce qu'un concept scientifique ?
- Comment s'élabore-t-il ?
- Découle-t-il d'une observation ou de l'analyse d'un objet concret ?
- Quelles sont les activités didactiques d'enseignement favorables à une éventuelle conceptualisation ?

## 2 DES POINTS DE VUE D'UN GROUPE D'ÉLÈVES-AGRÉGÉS SUR LE SENS ATTRIBUÉ À UN CONCEPT SCIENTIFIQUE

Dans la filière des sciences de la vie et de la terre, la pratique enseignante consiste à développer certaines compétences à travers un savoir scolaire constitué par des concepts, des théories, des modèles, des lois, etc. En fait, l'enseignant est souvent appelé à tenir des discours sur des concepts scientifiques. Dans cette perspective il nous a paru intéressant de chercher à approcher les conceptions de futurs agrégés (option : biologie-géologie) sur le sens qu'ils accordent à un concept scientifique. Il faut préciser que ces futurs agrégés sont sélectionnés par voie de concours et sont, soit des étudiants (niveau deuxième année de la faculté : DEUG), soit des enseignants ayant déjà exercé dans des lycées. Il s'agit d'un groupe de stagiaires devant constituer plus tard une élite de professeurs exerçant dans différents lycées.

Pour caractériser, d'une façon sommaire, les conceptions des futurs agrégés, nous avons demandé à chaque stagiaire ce que signifie pour lui un concept scientifique. Après une analyse des productions écrites nous avons essayé de dégager la signification, principale et probable, attribuée à un concept scientifique.

Nous présentons dans le tableau 1 quelques résultats du travail d'analyse entrepris :

Sens donné au concept scientifique	Répondants (E <sup>5</sup> )
- savoir universel et général.	- E1
- outil intellectuel.	- E6
- ensemble de connaissances, de faits et de données scientifiques.	- E2, E12
- interprétation théorique.	- E11
- conception.	- E7, E4, E5
- en relation avec un phénomène scientifique.	- E9
- démarche, analyse, interprétation, manipulation.	- E10, E13

Tableau 1 • récapitulatif de quelques résultats relatifs à la signification attribuée à un concept scientifique par un groupe de futurs agrégés

Les réponses développées montrent que les idées avancées sont diverses.

(5) E désigne : Enseignant.

Nous tenons à préciser que cette investigation sommaire ne constitue nullement un travail d'analyse rigoureux appliqué aux productions écrites des répondants. Ils représentent simplement un élément indicateur des besoins en formation à l'enseignement des sciences justifiant le choix et l'importance du module de formation proposé.

### 3 UN PARADOXE RÉVÉLATEUR

Ces différents résultats permettent de mettre en évidence un certain paradoxe. En effet, alors que le travail des enseignants consiste à présenter des concepts scientifiques, la plupart d'entre eux n'en ont pas une conception adéquate. Cette constatation a été à l'origine de la réflexion sur les actions de formation à entreprendre pour clarifier le sens d'un concept scientifique. Il paraît difficile aux enseignants de présenter un concept dont ils semblent ignorer le contexte historique de son élaboration et de son développement.

Rumelhard (1986) explique l'importance d'un enseignement scientifique centré sur les concepts scientifiques et Mayr (1981) insiste sur l'importance d'une compréhension adéquate des concepts de la biologie de l'évolution pour éviter d'éventuelles confusions et incompréhensions. L'idée de centrer l'enseignement des sciences expérimentales sur les concepts scientifiques est également soulignée par les chercheurs en didactique des sciences (Aster, 1985). D'où l'importance de connaître ce que signifie un concept scientifique par les professionnels de la formation à l'enseignement des sciences et par les enseignants de sciences.

Nous avons adopté dans le présent article quelques caractéristiques proposées par Rumelhard (1986) pour définir un concept scientifique :

– « une dénomination et une définition, autrement dit un nom chargé d'un sens le plus univoque possible, contrairement aux concepts linguistiques généralement équivoques » ;

– « capable de remplir une fonction opératoire, une fonction de discrimination ou une fonction de jugement, dans l'interprétation de certaines observations ou certaines expériences » ;

– « tout concept a une extension ou une compréhension, un domaine et des limites de validité, étroitement dépendant d'une définition nettement fixée » ;

– « un concept fonctionne toujours en relation avec d'autres concepts techniques et théoriques. Il est un nœud dans un réseau de relations cohérent et organisé, et non un élément disposé à côté d'autres par simple juxtaposition »

## **4 DES IMPLICATIONS PÉDAGOGIQUES POSSIBLES DE L'HISTOIRE DES SCIENCES DANS UNE OPTIQUE DE FORMATION À L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES**

Il n'existe pas une conception particulière de l'histoire des sciences qui fasse consensus dans les communautés des historiens des sciences et des chercheurs en didactique : la pertinence didactique de la dimension historique ne serait pas la même selon la construction historique réalisée (Gagné, 1991). Il y a lieu de faire remarquer que chaque type d'histoire constitue une "matière" à penser différente selon les éléments historiques proposés. Nous pouvons dire que la nature des éléments historiques détermine en partie la nature des réflexions didactiques développés et les implications didactiques qui en découlent. On distingue généralement trois approches historiographiques en histoire des sciences (Kuhn, 1977 ; Pomian, 1978 ; Jones, 1989). Ces approches historiographiques sont nommées différemment selon les auteurs : classique, événementielle pour la première ; interne, intellectuelle pour la seconde ; externe, sociale ou contextuelle pour la troisième. Une histoire des sciences dont les éléments pourraient inspirer des projets de formation novateurs, en matière de formation à l'enseignement des sciences, devrait présenter les caractéristiques suivantes :

- une histoire des sciences qui permettrait, entre autres, d'accéder aux conditions de possibilité et aux obstacles de la construction du savoir scientifiques (Jacob, 1970) ;

- une histoire qui permettrait d'approcher la dynamique intellectuelle, les obstacles à la conceptualisation, les conditions de possibilité de l'établissement des faits scientifiques et les déterminants contextuels de l'activité et de la production scientifique (Canguilhem, 1983) ;

- une histoire des science permettant de situer la science moderne et d'expliquer son évolution (Fourez, 1992). Une histoire des sciences qui propose un cadre élargi qui augmenterait l'intelligibilité des discours développés à l'égard des « sciences modernes » ;

- une histoire sociale des sciences telle que la présente par exemple Latour (1989) ;

- une histoire qui permettrait de mettre en question un savoir établi (Stengers, 1986, 1992) ;

- une histoire des sciences qui rend compte des conditions (intellectuelles, philosophiques, culturelles et idéologiques) qui autorisent

des types de questionnements scientifiques possibles ainsi que la proposition et la validation des modèles explicatifs (Mathy, 1992). Une histoire qui tend à définir des collectivités de chercheurs qui ont su mettre à profit des idées, scientifiques ou autres, pour aller des productions scientifiques les moins formelles aux plus formelles.

Bref, une histoire qui propose des éléments historiques incitant à des réflexions historico-épistémologiques ; une histoire qui serait génératrice d'indices didactiques pouvant baliser des pratiques innovantes de formation. Dans cette optique, Mathy et Fourez (1997) soulignent l'importance d'une culture épistémologique pour le futur enseignant de sciences, pour mener à bien des actions éducatives efficaces. Ces auteurs font remarquer avec une insistance particulière l'intérêt de cette dimension épistémologique pour l'acquisition de nouvelles postures professionnelles permettant d'une part une appréciation nuancée par le futur enseignant de son épistémologie spontanée et, d'autre part, de l'épistémologie qui marque la structure des cours de sciences qu'il dispense. D'autres auteurs s'accordent également sur les implications didactiques de l'histoire des sciences dans une optique de formation à l'enseignement des sciences (Lacombe, 1987 ; Stengers, 1992 ; Guilbert & Méloche, 1993 ; Kassou, 1993 ; Gagné, 1993 et 1994 ; Orlandi, 1994 ; Gueye, 1999 ; Coquidé, 2000).

## **5 UN MODULE DE FORMATION STRUCTURÉ À PARTIR D'ÉLÉMENTS D'HISTOIRE DES SCIENCES**

Ce module de formation a été mis en œuvre, au cours de l'année académique 2004-2005, dans un cycle de préparation à l'agrégation des sciences de la vie et de la Terre de l'école normale supérieure de Tétouan (Maroc) avec une population dont les caractéristiques ont été précisées au chapitre deux. Les éléments de référence qui ont orienté le choix et la conduite des activités de formation sont les suivants :

- le développement de nouvelles postures épistémologiques ;
- les objectifs de formation officiels relatifs à l'enseignement des sciences ;
- notre conviction de l'intérêt didactique d'une mise en œuvre d'« objets historiques » pour opérer une évolution de certaines idées relatives aux sciences, à l'enseignement et à l'apprentissage des sciences.

Ce module se déroule sur trois mois à raison de deux heures par semaine. C'est un module qui implique des récurrences du fait de sa nature complexe et des réflexions inhabituelles auquel il renvoie. Un accompagnement didactique particulier de notre part était nécessaire afin d'aider l'enseignant stagiaire à développer des réflexions en rapport avec les objectifs du présent module. Cet accompagnement consistait à développer des questions et à proposer des objets de réflexion qui puissent aider le futur enseignant à dégager des idées pertinentes sur les processus et les conditions d'élaboration des concepts scientifiques. En fait, il s'agissait de fournir, par le biais de questions précises et de remarques pertinentes, des éléments suffisamment incitateurs pour susciter l'évocation et la proposition par le stagiaire d'idées qui pourraient déboucher sur ses implications didactiques possibles des faits historiques à l'étude. Ce contexte didactique de formation a constitué un espace à l'intérieur duquel les enseignants stagiaires étaient invités à exprimer et confronter leurs points de vue, sur des questions et des aspects précis de quelques faits historiques qui ont marqué les procédés et les conditions d'évolution des concepts scientifiques à l'étude, ce qui pourrait induire une mise en évolution des conceptions des stagiaires, relativement au sens d'un concept scientifique en particulier et à la nature du savoir scientifique en général.

Nos efforts de formation ont consisté à réunir les conditions pour aider le stagiaire à prendre du recul par rapport à ces faits historiques et entreprendre, par voie de conséquence, une lecture distanciée de ces faits.

## **5.1 Choix des thèmes d'histoire des sciences**

Pour développer le module de formation, nous avons retenu deux thèmes historiques que nous avons jugés pertinents et susceptibles de fournir des indications utiles pour une compréhension adéquate du sens d'un concept scientifique :

- de l'immunisation à l'immunologie (des techniques de vaccination à la science de l'immunologie) ;
  - quelques repères importants de l'histoire du concept de cellule.
- Le choix de ces thèmes découle, d'une part des compétences du formateur à mettre en valeur des thèmes de l'histoire des sciences et à sa capacité à concevoir des activités concrètes de formation congruentes avec les finalités de la formation, d'autre part de la recherche de thématiques présentant des caractéristiques pertinentes :

- des thématiques qui auraient des implications didactiques en rapport avec les objectifs de la formation à l'enseignement des sciences ;
- des thématiques qui permettent de lutter contre une conception empiriste largement partagée et véhiculée à travers les discours tenus par les enseignants, les programmes et les manuels scolaires ;
- des thématiques qui permettraient de nuancer le statut de l'observation dans la construction du savoir scolaire (concept de cellule) ;
- des thématiques qui permettraient de saisir la nature du travail de conceptualisation (passage de pratiques empiriques d'immunisation à la construction d'une théorie claire de l'immunité) ;
- des thématiques qui permettraient de prendre conscience de l'importance des obstacles et des facteurs favorables à l'élaboration de la connaissance scientifique (concept de cellule) ;
- des thématiques qui permettraient de mettre en évidence des relations réciproques entre idéologie, science et culture.

### ***Objectifs du module de formation***

Les objectifs de formation visés à travers ce module sont les suivants :

- amener l'élève agrégé à prendre conscience du fait qu'un concept scientifique est avant tout une première réponse à un problème en évolution ;
- contribuer à une invalidation d'une approche scientifique basée sur la seule observation et la manipulation d'objets concrets ;
- remettre en cause la conception selon laquelle la démarche Oheric est susceptible de décrire la façon dont la connaissance scientifique s'élabore ;
- identifier, pour chaque concept étudié, quelques obstacles qui ont entravé son élaboration et son évolution ;
- mettre en exergue des conditions favorables à l'élaboration et à l'évolution d'un concept scientifique ;
- prendre conscience du fait qu'un concept scientifique ne désigne pas un fait, mais une relation qui peut se retrouver dans des situations diverses ;
- montrer le rôle déterminant des idées reçues et les conceptions de chaque époque sur l'élaboration et l'évolution des concepts scientifiques.

La mise en œuvre de ce module avait pour but l'instauration d'un contexte didactique de formation reposant sur une lecture critique de faits historiques, mettant en question l'évidence du sens et de la nature d'un concept scientifique et conduisant à une réflexion sur l'élaboration d'une notion scientifique et son évolution conceptuelle. Ce module est une contribution au renouvellement des programmes de formation à l'enseignement des sciences en proposant de nouvelles finalités de formation.

## **5.2 Exploitation didactique des thèmes de l'histoire des sciences dans une perspective de formation**

Un volume horaire de douze heures, à raison de deux heures par semaine, a été consacré à chaque thème historique. Chaque thème a constitué un objet de réflexion à partir duquel nous avons essayé de dégager les aspects suivants :

- la problématique initiale et son évolution ;
- les conditions et les questions qui conditionnent l'évolution de la problématique initiale ;
- la clarification de quelques problèmes (conceptuels ou techniques) auxquels les auteurs étaient confrontés à chaque époque ;
- la mise en évidence de l'importance des représentations, des idées en place et des idées théoriques dans l'interprétation des faits scientifiques ;
- le rôle nuancé de l'observation, de la technique et des idées philosophiques dans l'élaboration d'un concept précis (concept de cellule) ;
- le rôle des idées et des représentations en cours comme facteurs de blocage ou d'évolution des idées ;
- quelques conditions favorables à l'élaboration et l'évolution des concepts étudiés (scientifiques, intellectuels, techniques, philosophiques, etc.).

La conception, l'élaboration et la mise en œuvre d'un module de formation implique une référence, implicite ou explicite, à une ou plusieurs théories d'apprentissage. Cependant, il n'est pas toujours aisé de situer les actions de formation entreprises. Les idées qui fondent les réflexions et l'élaboration du module qui en découle relèvent des théories constructivistes de l'apprentissage (Glaserfeld, 1985 ; Désautels & Larochelle, 1989 ; Fourez, 1997). Plus particulièrement, nous avons adopté les présupposés

socioconstructivistes développés par Jonnaert & Vander Borgh (2003), pour penser et structurer notre module de formation. Ce modèle socioconstructiviste est interactif et sous tendu principalement par trois composantes solidaires :

- une composante constructiviste : le sujet s'engage dans un travail réflexif sur ses propres connaissances ;
- une composante relative aux interactions sociales : l'apprentissage est réalisé à travers des interactions (enseignant et pairs) ;
- une composante en rapport avec le milieu : l'apprentissage est fonction des situations et donc foncièrement contextuel.

La préparation des activités de formation a consisté à élaborer et à distribuer un document préparé à l'avance relatif aux thématiques historiques retenues. En fait, il s'agissait d'un document visant à introduire des questionnements et des éléments de réflexion auxquels les stagiaires étaient tenus de réagir lors des activités de formation. Ce document de travail comportait des faits historiques formulés de manière à faciliter des réflexions et des raisonnements s'articulant aux objectifs assignés à ce module de formation.

Chaque fait historique a donné lieu à un débat animé et entretenu par des remarques et des questionnements du formateur pour activer et faciliter le développement d'idées sur l'élaboration, l'évolution et le sens des concepts scientifiques à l'étude. Les interventions didactiques de formation ont consisté à canaliser les raisonnements développés vers des problématiques de compréhension précises en relation avec les présupposés et conditions qui fondent l'élaboration et l'évolution historique des concepts à l'étude. Il y a lieu de préciser que le choix et la mise en forme des idées relatives aux faits historiques étudiés ont considérablement facilité l'organisation et le déroulement du travail didactique de formation. La finalité des actions de formation entreprises visait la proposition collective de quelques implications didactiques ainsi que leurs traductions en termes de pratiques de classes de sciences.

### 5.3 Un exemple de mise en relation de l'évolution historique d'un concept et des implications didactiques possibles pour la formation

**Thème historique 2 :** Concept de système immunitaire : (volume horaire : deux heures par semaine pendant six semaines)

Évolution des idées et élaboration du concept de système immunitaire	Des implications didactiques possibles de formation et / ou d'enseignement
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pratique empirique de mithridatisation et des pratiques empiriques d'immunisation (surtout contre la variole) dès l'Antiquité (de 200 avant J.-C. à 400 après J.-C.) : des pratiques d'une médecine magico-religieuse.</li> <li>– Aucune explication du succès des pratiques d'immunisation ou de certains échecs imputés à l'altération de la matière vaccine.</li> <li>– Développement de pratiques d'immunisation sans chercher à élucider les mécanismes et les processus à la base de l'immunisation à partir de 1720.</li> <li>– La possibilité de l'organisme d'acquérir une immunité contre certains agresseurs est connu empiriquement depuis fort longtemps (recours à une conception vitaliste pour donner sens à ce phénomène). La métaphore « immunité » passe dans le champ médical et désigne la capacité de résister aux maladies qu'elles que soient leurs causes au XVII<sup>e</sup> siècle et surtout au XVIII<sup>e</sup> siècle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ce point constitue un thème important pour faire comprendre la signification d'une pratique empirique ;</li> <li>– Obstacles à l'élaboration d'une explication scientifique pour les raisons suivantes :                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- absence d'une problématique bien définie et délimitée ;</li> <li>- absence d'hypothèses pouvant orienter les recherches scientifiques ;</li> <li>- manque de techniques et de procédés d'analyse ;</li> <li>- quasi absence de concepts et d'outils intellectuels pouvant aider à bâtir une explication scientifique.</li> </ul> </li> <li>– Implications didactiques possibles :                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- le travail de construction de connaissances par l'apprenant, par le biais de situations éducatives adéquates, implique une problématique de compréhension ou des phases de résolution de problèmes ;</li> <li>- une activité visant l'élaboration collective du savoir scolaire implique la proposition d'hypothèses qui inciteraient à s'engager dans un processus de validation et d'argumentation.</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– La médecine était plus une affaire de croyances et de présupposés philosophiques que de savoir scientifique et expérimental.</li> <li>– Développement de la théorie microbiologique (à partir de 1878) et proposition d'une entité causale : la bactérie et l'immunité est conçue comme étant une résistance à l'infection.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pour un formateur c'est une opportunité pour introduire et aider à saisir la notion d'obstacle à l'élaboration d'une explication scientifique savante ou scolaire ;</li> <li>– Pour l'enseignant, une connaissance de ce qu'est une conception vitaliste serait importante pour une éventuelle constitution d'une grille d'analyse des idées et des représentations développées par les élèves et pour la conception de stratégies didactiques efficaces.</li> <li>– Une prise de conscience de l'importance des moments scolaires de conceptualisation dans l'appropriation du savoir scolaire.</li> </ul>

<b>Évolution des idées et élaboration du concept de système immunitaire</b>	<b>Des implications didactiques possibles de formation et / ou d'enseignement</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Autour de 1880, deux modes d'explication de la maladie :</li> <li>- la théorie de l'auto-intoxication de Charles Bouchard ;</li> <li>- la théorie infectieuse des maladies. Cette théorie infectieuse représente un changement de perspective important dans le discours médical du fait qu'on est passé de la description des symptômes et des troubles vers la proposition de la cause de ces dérèglements.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un enseignant qui a compris le sens de la conception vitaliste serait capable de reconnaître cette conception chez des élèves du collège ou du lycée par exemple ; dans une perspective de formation ceci constituerait l'occasion d'expliquer la notion de pratique empirique, ce caractère empirique est souvent avancé sans explication précise.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Évolution des idées et élaboration du concept de système immunitaire</li> <li>- Conditions favorables à l'évolution du savoir relatif à l'immunologie :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- développement d'une expérimentation rigoureuse ;</li> <li>- développement des techniques de l'isolement de la culture et de l'inoculation.</li> </ul> </li> <li>- Malgré l'adoption et un consensus sur la théorie infectieuse de la maladie des obstacles importants marquent ce schéma explicatif :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- la maladie ne se manifeste qu'après un stade de développement, et par suite elle n'est diagnosticable qu'après un temps de latence ;</li> <li>- devant la diversité des individus et leur idiosyncrasie, la difficulté d'affirmer le rôle explicite d'un germe particulier dans le développement de la maladie ;</li> <li>- * élaboration du concept de porteur sain proposé par Nicolle à partir de 1930 initialement écarté par la communauté scientifique.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ces faits historiques permettent encore de montrer la portée d'une explication scientifique qui présente toujours des limites et qui correspond, en fait, à un modèle explicatif qui peut être amélioré ou réfuté complètement selon le nombre et l'importance des critiques adressées à l'encontre de cette explication scientifique.</li> <li>- Exemple pour faire remarquer que le projet n'était pas orienté par une problématique visant la compréhension de l'immunité mais avait pour objectif principal la mise au point des vaccins ;</li> <li>- Importance de la critique dans la construction et le développement du savoir scolaire du fait que ceci contribuerait à mieux fonder et à stabiliser le savoir scolaire par l'apprenant suite à un travail d'argumentation.</li> <li>- Une mise à profit de cette explication pour la présenter comme étant une des "conceptions-obstacles" qui ont entravé une éventuelle conceptualisation du champ de l'immunologie et auxquelles des apprenants peuvent être confrontés dans une optique d'apprentissage des notions relatives à ce champ de connaissance.</li> <li>- Aider le stagiaire à saisir l'importance du consensus et de validation des propositions scientifiques par la communauté scientifique.</li> <li>- Aider à prendre conscience de la complexité des procédés de validation des modèles explicatifs.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Finalité des travaux de Pasteur surtout à partir de 1880 : essentiellement des pratiques empiriques d'immunisation basées sur un protocole d'atténuation par tâtonnements expérimentaux et ne reposant pas sur des hypothèses théoriques touchant l'immunité ;</li> <li>- La maladie était considérée comme une agression provenant de l'extérieur et touchant un organisme passif, sans résistance et innocent ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Démarche de clarification pour mettre au clair le caractère empirique et utilitaire des travaux de Pasteur qui ne visaient pas l'élucidation des mécanismes biologiques à la base de l'immunité post vaccinale.</li> <li>- Une prise en compte de ces obstacles lors de la conception et de la conduite des stratégies didactiques visant l'enseignement de l'immunologie.</li> </ul>

<b>Évolution des idées et élaboration du concept de système immunitaire</b>	<b>Des implications didactiques possibles de formation et / ou d'enseignement</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Principales difficultés vers l'élaboration d'une théorie globale de l'immunité :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'idée d'un hôte passif face à la maladie ;</li> <li>- conceptions dominantes sur l'origine externe de l'agent causal et la fonction temporaire de l'immunité ;</li> <li>- quasi absence d'outils intellectuels ;</li> <li>- difficultés de proposer une ou des explications sérieuses des mécanismes de protection immune.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dans une perspective scolaire, il y a nécessité de prendre conscience de l'importance didactique des activités d'enseignement permettant des critiques et des confrontations de points de vue dans les démarches de construction et de structuration du savoir scolaire par l'apprenant.</li> <li>- C'est un exemple pertinent pour faire comprendre la nature de l'explication scientifique qui serait une réponse partielle à un problème en devenir.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La théorie infectieuse de la maladie a connu un triomphe apparent (surtout à partir de 1880) mais elle reste muette face aux faits suivants :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'inégalité naturelle face au même germe ;</li> <li>- l'événement vaccinal ;</li> <li>- la mémoire immunitaire.</li> </ul> </li> <li>- Les théories guerrières de l'immunité :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- la théorie phagocytaire de E. Metchnikoff (à partir 1883) ;</li> <li>- la théorie humorale de l'immunité (1890) ;</li> <li>- la théorie des chaînes latérales de P. Ehrlich (environ 1900).</li> </ul> </li> <li>- Cette théorie des chaînes latérales constitue en fait une théorie chimique de l'immunité et certaines conditions favorables à la formulation de cette théorie seraient les suivantes :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- une réflexion à partir d'un cadre de pensée différente ;</li> <li>- développement de la chimie ;</li> <li>- développement de la biologie.</li> </ul> </li> </ul> <p>Remarque : la théorie des chaînes latérales serait une théorie complète de l'immunité dans la mesure où elle essaye d'expliquer le phénomène vaccinal.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- C'est une théorie qui correspond à une phase importante de l'histoire du concept d'immunité dans la mesure où elle a proposé une explication des deux faits essentiels du phénomène vaccinal : la spécificité et la mémoire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'implication didactique scolaire de ce fait historique incite à instaurer des activités qui puissent donner lieu à des confrontations de points de vue, d'idées et qui déboucheraient sur des débats incitant l'apprenant à adopter ou à changer de façon consciente d'idée ou de conception.</li> <li>- Aider à saisir l'importance des modèles dans l'assimilation du savoir ainsi que l'intérêt didactique des activités de modélisation dans la construction du savoir scolaire du fait qu'elles permettent de comprendre, de stabiliser et de mobiliser le savoir scolaire :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'enseignement ne consiste pas proposer de nouvelles conceptions mais plutôt à aider à changer de conceptions ;</li> <li>- l'enseignement des sciences doit favoriser le développement de la compétence relative au questionnement nécessaire à la construction du savoir scolaire et à l'adoption d'une posture critique à l'égard de ce savoir ;</li> <li>- montrer l'intérêt du symbolisme et du substantialisme dans des démarches visant l'explication des phénomènes immunitaires et scientifiques ;</li> <li>- prendre conscience de l'importance didactique des analogies et des modèles pour la compréhension des aspects relatifs à l'immunité ou les phénomènes scientifiques en général.</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limites de cette théorie :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- la théorie ne propose aucune hypothèse sur la nature et le nombre des récepteurs « anticorps » ;</li> <li>- elle ne rendait pas compte de la multiplicité des antigènes.</li> </ul> </li> <li>- Des perspectives nouvelles dans l'élaboration du concept de système immunitaire en relation avec les faits suivants :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Landsteiner décide d'aborder la question de l'immunité du point de vue des substances immunisantes 1912 ;</li> <li>- les réactions immunitaires pouvaient dépasser les limites strictes des maladies infectieuses.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implications didactiques relatives à l'élaboration et au développement de la théorie des chaînes latérales :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- inciter l'enseignant à prendre conscience de l'importance des activités de conceptualisation du fait qu'elles représentent des moments importants pour construire et s'approprier des notions scientifiques ;</li> <li>- prendre conscience du caractère construit de la connaissance scientifique et déduire de ce fait que l'enseignement consiste non pas à communiquer des connaissances mais à aider à construire des connaissances ;</li> <li>- envisager des démarches alternatives qui débutent par l'étude des aspects fonctionnels.</li> </ul> </li> </ul>

<b>Évolution des idées et élaboration du concept de système immunitaire</b>	<b>Des implications didactiques possibles de formation et / ou d'enseignement</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proposition des théories instructives (exemple de modèle de Pauling vers 1940).</li> <li>– Malgré la pertinence relative de ces théories, elles ont fini par s'effondrer du fait qu'elles étaient incapables de rendre compte d'un certain nombre d'observations :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'augmentation exponentielle de la production des anticorps lors de la première phase de la réaction immunitaire ;</li> <li>- le phénomène de rappel observé lorsque l'animal est exposé une seconde fois au même antigène (notion de mémoire immunitaire).</li> <li>- * la tolérance du soi.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aider l'enseignant stagiaire à prendre conscience de la complexité du fonctionnement du système immunitaire et les difficultés à conceptualiser le champ de connaissance de l'immunologie. Ainsi, l'histoire de ce concept représente un cadre de référence pertinent auquel nous pouvons rapporter les productions et les formulations des apprenants afin de comprendre leur complexité et leur donner sens.</li> <li>– Aider l'enseignant stagiaire à prendre conscience du caractère complexe et dynamique du savoir scientifique et qu'il est nécessaire de mettre en œuvre des stratégies d'enseignement efficaces pour aider l'apprenant à s'approprier les concepts relatifs au fonctionnement du système immunitaire.</li> <li>– Aider l'enseignant stagiaire à prendre conscience du fait qu'un changement des conceptions relatives au fonctionnement du système immunitaire exige des actions éducatives fondées pour éviter la communication de termes vides de sens.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– La conception de la maladie par auto-immunité a constitué un facteur de développement puissant de l'immunologie et le modèle de l'auto-immunisation est fort heuristique du fait qu'il a permis de poser de nouvelles questions ainsi que l'ouverture de nouvelles perspectives de recherche.</li> <li>– Évolution des idées sur la production et la diversité des anticorps :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- des théories instructives qui donnaient le premier rôle à l'antigène valides à partir de 1930 jusqu'à la fin des années soixante (1960) ;</li> <li>- à la théorie de Burnet (1941-1949) basée sur le processus d'apprentissage comme mécanisme des réactions immunitaires ;</li> <li>- théories sélectives développées par Jerne et Burnet à partir de 1954.</li> </ul> </li> <li>– Évolution de la conception scientifique relative au fonctionnement du système immunitaire :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- d'un système de rejet déclenché occasionnellement et tourné essentiellement vers le pathologique ;</li> <li>- vers une conception où le système fonctionne de façon permanente et qui est caractérisé par des réactions de rejets et des réactions de tolérance.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aider l'enseignant stagiaire à prendre conscience de l'importance de la conception de la maladie par auto-immunité dans le développement du concept d'immunité pour être en mesure d'élaborer et de mettre en œuvre des situations d'enseignement efficaces visant le développement de cette conception.</li> <li>– Aider à prendre conscience de l'existence conjointe de plusieurs théories valables et qui ne seraient pas exclusives.</li> <li>– Aider à stabiliser l'idée du caractère construit et relatif du savoir scientifique.</li> <li>– Mettre en évidence que chaque courant théorique construit et sélectionne les arguments fondateurs de la théorie ainsi que la complexité de la relation expérience-théorie dans la validation ou la réfutation des théories.</li> <li>– Aider à mettre en échec l'idée de vérité scientifique.</li> <li>– Conditions favorables à l'évolution des idées sur le fonctionnement immunitaire :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- la problématique de l'immaturité immunologique ;</li> <li>- la problématique de l'auto tolérance ;</li> <li>- la problématique de l'auto-immunité et la maladie auto-immune ;</li> <li>- la problématique de la production secondaire des anticorps longtemps après une première exposition à un antigène ;</li> <li>- la problématique de l'augmentation de la production des anticorps suite à une exposition à un antigène.</li> </ul> </li> </ul>

Notre travail ne visait nullement une reconstitution de l'histoire conceptuelle de chaque notion proposée, mais consistait plutôt à opérer un choix de faits historiques susceptibles de présenter des implications didactiques de formation.

Le module proposé représente un modèle ouvert qui peut être mis en œuvre par des formateurs ayant une certaine culture épistémologique et didactique pour, d'une part opérer les ajustements nécessaires, d'autre part le choix d'actions et la construction d'activités qui puissent assurer une exploitation didactique des faits historiques. En fait, notre objectif ne consiste pas à présenter un module avec des orientations didactiques figées, mais à proposer un projet de formation avec lequel un formateur peut interagir pour procéder aux changements qui s'imposent en fonction des objectifs spécifiques de formation et du groupe cible. Notre souci est de solliciter une contribution du formateur en lui offrant l'occasion de construire partiellement un module « singulier » de formation modulable selon l'évolution des objectifs de formation.

## **6 UNE APPRÉCIATION DES RETOMBÉES DIDACTIQUES DU MODULE DE FORMATION**

Suite à ce module de formation il ressort que les stagiaires ont développé des idées relatives à la nature et au sens d'un concept scientifique qui présentent peu de recouvrements avec les orientations épistémologiques actuelles. Malgré les actions et les activités de formation entreprises ils ont rencontré des difficultés pour s'approprier les éléments de formation visés à travers ce module. Le discours que nous avons développé au cours de ce module ne semble pas répondre aux besoins et aux préoccupations de l'enseignant stagiaire généralement préoccupé par des problématiques relatives aux pratiques de classes.

On peut faire l'hypothèse que ce discours, « inhabituel » car invitant les stagiaires à des réflexions nouvelles et difficiles à développer, exige pour être compris une initiation préalable à des réflexions historico-épistémologiques. Il s'agirait de susciter un besoin de compréhension et de développer des conceptions susceptibles d'aider l'enseignant stagiaire à s'engager dans des réflexions auxquelles renvoient des thématiques historiques.

Nous pouvons avancer l'idée que les effets d'un module de formation reposant sur l'histoire des sciences dépendent de l'intérêt et de la motivation à l'égard du discours historique, des capacités à analyser un tel discours et de la reconnaissance par les stagiaires des implications pratiques pouvant être mises en œuvre en classe. Un travail préalable au

module de formation, susceptible de réunir les conditions qui donnent accès à un nouvel état de réflexions sur les contenus de formation auxquels le stagiaire est peu habitué, nous paraît nécessaire.

## CONCLUSION

Les implications didactiques de l'histoire des sciences à des fins de formation ne semblent pas envisageables de manière simple et évidente. Elles nécessiteraient un travail d'analyse et d'élaboration à travers une théorie, des représentations ou des idées précises en rapport avec la problématique de la formation à l'enseignement des sciences. Des questions préalables, relatives à des aspects particuliers de cette problématique de formation, permettraient au formateur-chercheur de dégager des points de vue historiques pouvant constituer une matière à penser pour déduire des implications didactiques possibles de l'histoire des sciences en rapport avec les finalités de la formation à l'enseignement des sciences. Ceci expliquerait, peut être, les difficultés à passer d'un discours sur la pertinence didactique de l'histoire des sciences à la proposition de projets concrets de formation inspirés de l'histoire des sciences.

Nous pensons qu'il est temps de se pencher sur cette problématique didactique, à laquelle les chercheurs sont assez peu sensibles, pour fonder des actions didactiques de formation et pour dégager de nouvelles pistes de recherches relativement aux préoccupations actuelles de la formation à l'enseignement des sciences. Une formation à l'enseignement des sciences ne devrait en effet pas se limiter uniquement à des propositions de "recettes d'enseignements, des consignes de travail et des postures pédagogiques à tenir en classe, mais devrait viser encore le développement d'un regard critique par rapport aux pratiques éducatives, aux programmes scolaires, aux manuels scolaires en vigueur et aux procédés d'évaluation. Ces dispositions critiques et réflexives seraient nécessaires pour que le futur enseignant puisse proposer des situations d'enseignement, constamment renouvelées, qui répondent aux besoins d'un contexte en perpétuel changement et marqué par des enjeux importants. Une formation par l'histoire des sciences constituerait un procédé de formation approprié pour développer de telles dispositions.

## BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI J.P., CAUZILINE-MARMÈCHE E., GIORDAN A., HENRIQUES – CHRISTOFIDÈS A., MATHIEU J. & WEIL-BARAIS A. (1984). *Expérimenter, sur les chemins de l'explication scientifique*. Toulouse : Privat.
- COQUIDÉ M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches non publié. Paris : université Paris-Sud.
- BACHELARD G. (1972). *La formation de l'esprit scientifique : Contribution à une psychanalyse de la connaissance scientifique*. Paris : J. Vrin.
- DÉSAUTELS J. (1980). *École + science = Échec*. Québec, Québec Science Édition.
- DÉSAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes*. Sainte Foy, Les Presses de l'Université Laval.
- GAGNÉ B. (1991). *L'histoire des sciences dans l'enseignement des sciences : recourir à l'histoire, oui, mais quelle histoire ?* Séminaire sur la représentation, n° 60. Montréal, CIRADE, Université du Québec à Montréal.
- FILLON P. (1991). Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves. In l'élève épistémologue. *Aster*, n° 12, p. 91-120.
- FOUREZ G. (1992). *La construction des sciences*. 1<sup>re</sup> éd 1988. Bruxelles, De Boeck.
- FOUREZ G., ENGLEBERT-LECOMPTE V. & MATHY P. (1997). *Nos savoirs sur nos savoirs. Un lexique d'épistémologie pour l'enseignement*. Bruxelles, De Boeck.
- GAGNÉ B. (1993). *L'histoire des sciences dans la formation à l'enseignement des sciences*. Séminaire sur la représentation, n° 79. Montréal, CIRADE, université du Québec à Montréal.
- GAGNÉ B. (1994). Autour de l'idée d'histoire des sciences : représentations discursives d'apprentis(e)s – enseignant(e)s de sciences. *Didaskalia*, n° 3, p. 61-78.
- GIORDAN A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris, Centurion.
- GIORDAN A., ASTOLFI J.P., GOHAU G., HOST V., MARTINAND J.L., RUMELHARD G. & ZADOUNAÏSKY G. (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?* Paris, PUF.
- GIORDAN A. & DE VECCHI G. (1987). *Les origines du savoir*. Neuchâtel-Paris, Delachaux & Niestlé.
- GIORDAN A. & MARTINAND J-L. (1989). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que ça marche*. Nice, Z'édition.
- GLASERFELD E.V (1985). *L'approche constructiviste : vers une théorie des représentations*. Séminaire sur la représentation, n° 7. Montréal, CIRADE, université du Québec à Montréal.
- GOHAU G. (1967). Enseigner l'histoire des sciences. Pourquoi ? *Cahiers Pédagogiques*, n° 15, p. 7 – 35.
- GUEYE B. (1999). L'histoire des sciences au secours de la formation des professeurs de biologie/géologie. *LIENS nouvelle série* n° 2, p. 25-33.
- GUILBERT L. & MÉLOCHE D. (1993). L'idée de science chez les enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ? *Didaskalia*, n° 2, p. 7-30.
- HULIN N. (1992). Une question lancinante : comment former à l'enseignement des sciences. In Sciences à l'école : les raisons du malaise, *Sciences et Vie*, n° 180, p. 36-45.
- JACOB F. (1970). *La logique du vivant*. Paris, Gallimard.
- JOHSUA S. & DUPIN J-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- JONNAERT p. & VANDER-BORGH T. (2003). *Créer des conditions d'apprentissage*. Bruxelles, De Boeck & Larcier.

JONNES R. (1989). The historiography of science : retrospect and future challenge. In Shortland, M. & Warwick A. (éd.) : *Teaching the history of Science*. Oxford, Basil Blackwell, p. 80-99.

KASSOU S. (1993). *Éléments pour l'analyse didactique du statut de l'expérience dans l'enseignement de la biologie : le cas de la photosynthèse*. Thèse. Paris, université Paris – Diderot Paris VII.

KUHN T – S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, PUF.

LACOMBE G. (1987). Pour l'introduction de l'histoire des sciences dans l'enseignement du second cycle. *Aster*, n° 5, p. 87-116.

LATOUR B. (1989). Joliot : l'histoire et la physique mêlées. In Serre M. (dir). *Éléments d'histoire des sciences*. Paris, Bordas, p. 423 – 445.

MATHY P. (1992). *Les théories de l'évolution dans les manuels scolaires, analyse critique historico-épistémologique et propositions d'alternatives*. Namur, Publications du Département Sciences, Philosophies, Sociétés des Facultés Universitaires de Namur.

MATHY P. & FOUREZ G. (1997). De l'épistémologie dans les cours de sciences ? Réponses à quelques questions qu'on n'ose poser. *Courier du Cethes Numéro spécial n° 37 : Épistémologie et enseignement secondaire*. [http:// www.fundp.ac.be/sciences/scpilosoc/cethes/CourierduCethes/courier\\_du\\_cethes.html](http://www.fundp.ac.be/sciences/scpilosoc/cethes/CourierduCethes/courier_du_cethes.html). (Consulté le 12 Juin 2007).

MAYR E. (1981). *La biologie de l'évolution*. Paris, Hermann.

MELHAOUI M., EI HAFID L., AMAMOU B. & HAMMOUTI A. (2004). *L'échec à l'université Marocaine : bilan des principales causes et attentes de la pédagogie universitaire*. Dans AIPU. Actes du 21<sup>e</sup> Congrès international de l'AIPU du 3 au 7 mai. Publication de l'université Cadi Ayyad, Marrakech (Maroc), p. 22-23.

ORLANDI E. (1994). Les conceptions d'enseignants de biologie à propos de la démarche expérimentale. In A. Giordan, Y. Girault et P. Clément, *Conceptions et connaissances*. Berne, Peter Lang, p. 133-143.

POMIAN K. (1978). Histoire des sciences. In Le Goff, J. (dir) : *La nouvelle Histoire*. Paris, CEPL, p. 504 – 507.

Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales. (1985). *Aster* n° 3. Collection Rapports de recherches. Paris, INRP.

RUMELHARD G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne, Peter Lang.

STENGERS I. (1986). L'histoire des sciences et comment s'en servir. In J.P Dupuy *et al.*, *Sens et place des connaissances dans la société*. Paris, CNRS, p. 117-145.

STENGERS I. (1992). *Le rôle possible de l'histoire des sciences dans l'enseignement. Séminaire sur la représentation*, n° 65. Montréal, CIRADE, université du Québec, Montréal.

THÉODORIDÈS J. (1965). *Histoire de la biologie*. Paris, PUF.

## Livres d'histoire des sciences et références

BAJA R. (1969). *La méthode biologique*. Paris, Masson et C<sup>ie</sup>.

CANGUILHEM G. (1977). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences*. Paris, J. Vrin.

CANGUILHEM G. (1980). *La connaissance de la vie*. Paris, J. Vrin.

CANGUILHEM G. (1983). *Études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris, J. Vrin.

GIORDAN A. (Sous dir). (1987). *Histoire de la biologie. Tome II*. Paris, Technique & Documentation -Lavoisier.

GIORDAN A. (Sous dir). (1987). *Histoire de la biologie. Tome I*. Paris, Technique & Documentation-Lavoisier.

JACOB F. (1970). *La logique du vivant*. Paris, Gallimard.

KLEIN M. (1936). *Histoire des origines de la théorie cellulaire*. Paris, Hermann.

KLEIN M. (1980). *Regards d'un biologiste*. Paris, Hermann.

L'immunologie, jeux de miroirs (1990). *Aster*, n° 10. Paris, INRP.

MOULIN A-M. (1991). *Le dernier langage de la médecine : histoire de l'immunologie de Pasteur au SIDA*. Paris, PUF.

ROSTAND J. (1978). *Esquisse d'une histoire de la biologie*. Paris, Gallimard.

RUMELHARD G. (1990). Le concept de système immunitaire. *Aster*, n° 10, p. 8-26.

RUMELHARD G. (1990). L'enseignement de l'immunologie : thèmes de recherche. *Aster*, n° 10, p. 3-7.

THÉODORIDÈS J. (1984). *Histoire de la biologie*. 1<sup>re</sup> édition 1965. Paris, PUF.

## **ANNEXE 1 LISTE DES PROGRAMMES (DE FORMATION) DE QUELQUES CENTRES DE FORMATION**

1. Plan d'action de l'année (1990-1991) de la direction de la formation des cadres du ministère de l'Éducation nationale.

Titre : Élaboration des syllabus relatifs au complément de formation à la didactique et à la terminologie. Cycle pédagogique. Centre pédagogique régional de Rabat. Pages : 68.

2. Plan d'action de l'année (1992-1993) de la Direction de la Formation des cadres du ministère de l'Éducation nationale.

Titre : Syllabus des cours de biologie, de physiologie animale et de didactique des sciences naturelles et physique chimie. Centre pédagogique régional de Fès. Pages : 36.

3. Plan d'action (1992-1993) du centre Pédagogique régional de Derb Ghalef Casa Anfa.

Titre : propositions d'exemples de progression sur le programme de formation des sciences naturelles de la direction de la formation des cadres. Nombre de pages : 43.

4. Plan d'action (1993-1994) du Centre pédagogique régional de Derb Ghalef Casa Anfa. Nombre de page : 55.

5. Plan d'action (1989-1990) du Centre pédagogique régional de Derb Ghalef, Casa Anfa

Titre : Projet de référentiel pour la 7<sup>e</sup> année de l'enseignement fondamental. Pages : 54.

6. Plan d'action (1990-1991) du Centre pédagogique régional de Derb Ghalef de Casa Anfa relatif à la section des sciences naturelles.

Titre : Propositions de quelques exemples de fiches d'expériences à réaliser en complément de formation du Cycle Pédagogique. Nombre de pages : 95.

7. Plan d'action de l'année (1991-1992), du Centre pédagogique régional de Derb Ghalef de Casa Anfa relatif à la section des sciences naturelles, élaboré par la direction de la formation des cadres du ministère de l'Éducation nationale.
8. Plan d'action du Centre pédagogique régional de Fès pour l'année (1992-1993) élaboré par la direction de la formation des cadres.

Titre : Plan d'action relatif à l'expérimentation d'une stratégie mettant en relief les notions et concepts des sciences physiques dans l'étude de la digestion au niveau de la 8<sup>e</sup> année de l'enseignement fondamental.

9. Plan d'action du Cycle pédagogique régional de Fès de juin 1993.

Titre : Syllabus de biologie, physiologie végétale, écologie et microbiologie. Pages : 65.

Programmes propres à quelques ENS (Tétouan, Fès et Marrakech)

Remarque : Nous tenons à préciser que le formateur, au niveau des CPR ou des ENS, est libre de proposer des modules qui ne figurent pas obligatoirement dans le cursus de formation.



## book reviews

---

**Apple, Michael W. (2002). *Power, meaning, and identity : essays in critical educational studies*. Série "Counterpoints", vol. 109, New York : Peter Lang Publishing.**

---

S'inscrivant dans la continuité des théoriciens critiques de l'éducation, depuis Paolo Freire (1921-1997), Basil Bernstein (1924-2000) et Henry Giroux, le chercheur américain Michael W. Apple propose une approche néo-marxiste afin de mieux appréhender la dimension politique des sciences de l'éducation et de l'enseignement des mathématiques. Auteur de plusieurs livres dont *Official Knowledge* (New York : Routledge, 1993) et *Education and Power* (Routledge, 1995), Michael Apple est professeur à l'université du Wisconsin à Madison. Dans ses livres, Michael Apple conçoit le système éducationnel comme étant reproducteur d'idéologies et d'inégalités (p. 53). Cette perspective critique semblera sans doute familière au lecteur français ayant déjà eu l'occasion de lire les travaux sur l'éducation de Louis Althusser (*Positions*, 1976) ou de Pierre Bourdieu et Jean-Claude Passeron (*Les Héritiers*, 1964). D'ailleurs, Michael Apple évoque au passage certains livres de Bourdieu pour lui emprunter le concept de capital culturel (p. 97 et 200). Mais le scepticisme de Michael Apple touche également l'enseignement des mathématiques dans les écoles des États-Unis ; il voit dans la survalorisation de la connaissance des mathématiques un élément supplémentaire qui contribuerait à départager les meilleurs élèves et à maintenir des inégalités déjà existantes au sein des groupes scolaires (p. 86). Le lecteur doit ici saisir toutes les nuances dans la pensée de Michael Apple : celui-ci ne conteste aucunement la légitimité

de l'enseignement des mathématiques à l'école, mais il constate néanmoins que des inégalités se creusent, compte tenu de la manière dont les programmes scolaires sont créés, et considérant en outre la place privilégiée qu'y occupent les mathématiques comparativement aux autres matières (p. 114).

Mais l'originalité de ce livre de Michael Apple ne réside pas uniquement dans sa perspective critique ; on y retrouve par ailleurs une série d'approches théoriques et méthodologiques peu usitées dans la francophonie : par exemple la recherche narrative (*narrative research*) proche de l'ethnographie, centrée sur les récits et l'analyse des entretiens (p. 175). Plus loin, on notera que toute sa réflexion sur la dynamique du pouvoir et de l'identité se fonde sur les "Cultural Studies" venues de l'Angleterre et qui impliquent souvent une relecture des écrits de Michel Foucault (voir surtout le chapitre 9). À plusieurs occasions, l'auteur fait l'éloge de l'interdisciplinarité (p. 175). Au risque de la trahir ou de la réduire abusivement, je dirais que sa pensée pourrait se résumer en quelques mots : l'éducation n'est pas neutre (p. 197). Un bref épilogue et un index s'ajoutent aux onze chapitres. Ouvrage théorique mais sans jargon, le livre *Power, meaning, and identity : essays in critical educational studies* sera surtout utile aux chercheurs et aux thésards voulant adopter une perspective critique face aux enseignements et aux sciences de l'éducation, mais sans avoir à toujours citer les écrits de Marx et de l'École de Francfort. Plusieurs générations de chercheurs critiques ont suivi depuis les premiers travaux des fondateurs. Michael Apple figure en bonne place parmi ces successeurs.

Yves Laberge



# ACTUALITÉ DES COLLOQUES

## Conference announcements

### LES DISCOURS UNIVERSITAIRES : FORMES, PRATIQUES, MUTATIONS

Colloque international organisé par les Universités de Bruxelles (ULB),  
Liège (ULG) et Louvain (UCL)  
Bruxelles – 24, 25, 26 avril 2008

#### *Appel à communications*

L'institution universitaire s'interroge de plus en plus sur les caractéristiques, les modalités, les finalités des discours qu'elle façonne et qui la façonnent. Elle est effectivement en train de vivre une profonde mutation qui l'oblige à remettre en question autant ses missions (scientifiques, pédagogiques, sociales, économiques, politiques) que les stratégies qu'elle met en oeuvre pour les accomplir. Il est bien temps, pensent d'aucuns, que l'analyse universitaire des discours serve aussi à une analyse des discours universitaires.

Le public des étudiants universitaires a changé : la démocratisation et la massification des études supérieures ont entraîné des tensions, des ruptures et, dans le meilleur des cas, des adaptations qui ne concernent pas seulement les matières et les programmes, mais aussi les fonctions et fonctionnements des discours. Dans le contexte de la libéralisation, voire de la commercialisation des études et des sciences, l'université a dû prendre position, pour s'en démarquer ou s'en inspirer, par rapport aux modèles proposés par les secteurs public et privé en matière d'enseignement, de recherche et de développement économique ; les discours *de* l'université, *dans* l'université, *sur* l'université portent témoignage de ces influences et concurrence.

Par ailleurs, l'internationalisation – dans le sens de la compétitivité comme de la collaboration – est désormais un des principaux vecteurs de l'évolution de l'université : la multiplication des contacts, des échanges, des projets, des planifications transfrontalières sur le plan de l'enseignement comme sur celui de la recherche ont amené la communauté universitaire à s'interroger sur ses pratiques linguistiques et discursives, pour en relever les singularités ou au contraire pour tenter de les neutra-

liser afin de s'inscrire dans cette globalisation intellectuelle. En outre, les évolutions et révolutions proprement pédagogiques, scientifiques, technologiques, épistémologiques, qui ont tendance à se précipiter depuis quelques décennies dans tous les domaines, ne sont pas sans conséquence sur les discours non seulement diffuseurs mais producteurs de savoirs.

C'est dans ces circonstances que ce colloque entend faire le point sur les discours universitaires définis préalablement comme « les discours tenus dans le cadre d'une institution universitaire, plus précisément par ses enseignants, ses chercheurs et ses étudiants, dans l'exercice de leurs fonctions ».

À la lumière de conférences de cadrage (T. Donahue, K. Fløttum, B. Fraenkel C. Kerbrat-Orecchinioni, D. Maingueneau), les débats s'articuleront selon trois volets à chacun desquels sera consacrée une journée.

### **1. Discours universitaires, modalités contextuelles, dimensions pragmatiques, technologie intellectuelle**

Il faudra d'abord se demander si le ou les discours universitaire(s) existe(nt) bien, par rapport notamment aux discours scientifiques, pédagogiques, techniques, académiques, et quelles peuvent en être les spécificités. Les intervenants questionneront ici les conditions contextuelles, énonciatives, pragmatiques et matérielles de ce ou ces discours : statuts et rôles des personnes impliquées, modalité et subjectivité, scénographie, topoi et éthos liés à l'université lieu de travail, vecteurs paralinguistiques, objets et supports techniques ou symboliques (*sa technologie intellectuelle*), finalités affichées, recherchées et atteintes, enjeux idéologiques... Ainsi pourra-t-on mieux cerner les relations qu'entretient la logique ainsi décrite du discours universitaire avec celles que prônent l'institution, la pédagogie, la cognition.

### **2. Formes des discours universitaires : inventaire critique**

Les contributions portant sur cet aspect de la problématique viseront à décrire, de façon métacritique, la variété des discours universitaires (genres et sous-genres), et à proposer des critères susceptibles de rendre compte de l'ensemble de leurs caractéristiques (en ce compris les modes d'appropriation et de diffusion de ces discours : sur papier ou virtuel, oral ou écrit, etc.). Ces analyses relèveront à la fois d'analyses linguistiques, discursives (quantitatives et qualitatives), séquentielles (définition, description, explication...), textuelles, argumentatives, interdiscursives, inter-actionnelles... Il sera aussi question de normes, implicites et explicites, qui sous-tendent cette diversité ou qui visent à l'endiguer, qu'on s'en réjouisse ou qu'on le regrette.

### **3. Évolution des discours universitaires dans le nouveau contexte international**

Sur base de témoignages de différents spécialistes disciplinaires, on verra pour terminer comment sont en train d'évoluer – ne serait-ce qu'au cours d'une carrière – les discours universitaires, leurs conditions, leurs caractéristiques, que ce soit dans le cadre de l'enseignement, de la recherche ou même des échanges informels. Une attention particulière sera accordée aux contraintes imposées à la publication scientifique. On s'interrogera finalement sur les enjeux linguistiques, scientifiques, épistémologiques, idéologiques, humains d'une standardisation des discours scientifiques au service d'une globalisation académique.

#### **Comité organisateur**

- Jean-Marc DEFAYS (Liège)
- Marie-Christine POLLET (Bruxelles)
- Laurence ROSIER (Buxelles)
- Francine THYRION (Louvain)

#### **Comité scientifique**

- Lisbeth DEGAND (Louvain)
- Kjersti FLØTTUM (Bergen)
- Béatrice FRAENKEL (Paris III)
- Catherine KERBRAT-ORECCHIONI (Lyon)
- Dominique MAINGUENEAU (Paris XII)
- Anna MAURANEN (Helsinki)
- Marie-Anne PAVEAU (Paris XIII)

#### **Langues du colloque : français et anglais**

#### **Calendrier**

- a) date limite pour la soumission des candidatures :  
**15 septembre 2007**
- résumé de 500 mots (bibliographie comprise)
  - qui mentionne le nom de l'auteur, son institution de rattachement et son adresse email
  - qui précise le volet concerné : voir ci-dessus 1 (modalités), 2 (formes) ou 3 (évolutions)
  - à adresser en fichier attaché.doc ou.pdf à l'adresse suivante : sarah.deltour.colloque@ulg.ac.be

b) décisions du Comité scientifique communiquées pour le **30 octobre 2007**

c) inscription au colloque : **le 15 février 2008**

## **TICE MEDITERRANEE 2008 : LA PROBLÉMATIQUE DE L'INTERCULTUREL**

### ***Présentation du colloque***

Ce colloque international prend la suite des colloques TICE Méditerranée organisés à Toulon en 2003, à Nice en 2004, à Gênes en 2006 et à Marseille en 2007 autour de la problématique de l'humain dans les nouvelles technologies numériques pour l'enseignement. Il a vocation à rassembler un large public issu des universités et des centres de recherche de l'arc méditerranéen. Le colloque reste néanmoins ouvert aux contributions venant de toutes les régions du monde. Le public visé inclut les enseignants chercheurs, les praticiens de l'EAD, les formateurs les acteurs de la formation continue et les utilisateurs des environnements numériques pour la formation.

### ***Organisation du colloque***

Pour cette cinquième édition, TICE Méditerranée est organisé en Tunisie par l'ATURD (l'Association Tunisienne des Recherches en Didactiques des disciplines) en partenariat avec l'Université de Tunis, l'ISEFC de Tunis, avec le soutien de l'Université de Sfax.

### ***Lieu du colloque :***

Tunisie.

### ***Déroulement du colloque :***

Les sessions (conférences plénières ou ateliers thématiques) se partageront entre réflexions théoriques et retours d'expérience. Elles se dérouleront sur trois journées du lundi 21 au mercredi 23 avril 2008.

### ***Appel à communication***

Le Colloque TiceMed 2008 sera, comme ses prédécesseurs, un colloque international qui croise les Tice avec les Sciences de l'éducation autour d'un un thème se rapportant à l'humain. Le thème retenu pour 2008 sera « L'humain dans

la formation à distance : la problématique de l'interculturel ». La formation à distance, médiatisée par l'Internet, permet aujourd'hui aux hommes et aux femmes de toutes les nationalités et de toutes les cultures d'accéder aux multiples ressources qui circulent sur la grande toile ainsi qu'aux formations offertes. Quelle est la place de la culture dans ce brassage d'informations ? Quelle place l'acculturation joue-t-elle dans ce processus planétaire, surtout pour les cultures « minoritaires » ? Comment encourager le dialogue entre les cultures à travers l'échange des idées et des informations sur l'Internet ? Comment faire pour que la plupart des langues aient leur place sur la toile ? Comment faire en sorte que ce « nouvel ordre mondial » ne se transforme en une culture hégémonique qui appauvrit les autres cultures ? Hormis les aspects techniques de «localisation / traduction» peut-on trouver des voies pour établir le transfert de connaissances entre personnes de cultures et /ou de générations différentes ? La différence de culture signifie-t-elle différence de langage ? Si oui, le langage de l'apprentissage au moyen de supports informatiques interactifs peut-il être un langage pivot interculturel ? Existe-t-il un OAI transcontinents ? (Open archive initiative) ?

Les thèmes qui seront traités dans ce Colloque seront :

- 1- La formation à distance et la culture
- 2- Le problème des langues dans la formation à distance
- 3- L'Internet et le phénomène d'acculturation.
- 4- Pédagogies et apprentissages sans frontière

### ***Calendrier***

- Dernier délai pour l'envoi du résumé : 30 novembre 2007
- Réponse du Comité de lecture : 31 janvier 2008
- Dernier délai pour l'envoi du texte (numérisé) : 23 mars 2008

### ***Langue de travail***

Déclaration d'intention : français ou anglais  
Texte pour les actes : français avec un résumé trilingue, (français, anglais et éventuellement langue d'origine)  
Communication orale : français ou anglais avec un support visuel en français ou bilingue et élocution appropriée

### ***Informations pratiques***

Instructions aux auteurs pour la déclaration d'intention :  
Les propositions des communications sont à soumettre par e-mail à : fathi\_matoussi@yahoo.fr

Publication des actes : cédérom et en ligne dans la revue ISDM :  
<http://isdsm.univ-tln.fr>

Droits d'inscription : (Tarif normal - Tarif étudiant)

Avant le 1<sup>er</sup> décembre 2007 150 € - 60 €

À partir du 1<sup>er</sup> décembre 2007 180 €

*Pays du sud*

Tarif normal - Tarif étudiant

Avant le 1<sup>er</sup> décembre 2007 : 100 DT - 50 DT

À partir du 1<sup>er</sup> décembre 2007 : 120 DT

### **Comité Scientifique**

Co-Présidence :

Dumas Philippe, université-du-Sud-Toulon-Var, France

Chabchoub Ahmed, université-de-Tunis, Tunisie

Membres :

Agostinelli Serge, IUFM Aix-Marseille, France

Giaufret Anna, université-de-Gênes, Italie

Grevet Patrick, université -de-Lille-1, France

Khelifi Slaheddine, ISET, Sfax, Tunisie

Léveillé Valérie, université-Paul-Cézanne-Aix-Marseille 3,  
France

Mallet Jeanne, université-de-Provence, France

Peraya Daniel, université-de-Genève, Suisse

Poli Sergio, université-de-Gênes, Italie

Pouliquen Isabelle, université-Paul-Cézanne-Aix-Marseille 3,  
France

Rasse Paul, université-de-Nice-Sophia-Antipolis, France

Renucci Franck, université-du-Sud-Toulon-Var, France

Rostaing Hervé, université-Paul-Cézanne-Aix-Marseille 3,  
France

Staccini Pascal, université-de-Nice-Sophia-Antipolis, France

### **Comité d'Organisation**

Présidence :

Ahmed Chabchoub, ISEFC, université-de-Tunis, Tunisie

Coordination générale :

Fathi Matoussi, ISEFC, université-de-Tunis, Tunisie

Imed Gargouri, FMSF, université-de-Sfax, Tunisie

Membres :

Kamel Bouraoui, ISEFC, université-de-Tunis, Tunisie

Rached Chebil, université-de-Sousse, Tunisie

Jalel Saadi, ISEFC, université-de-Tunis

Nejemeddine Hentati, FMSF, université-de-Sfax, Tunisie

Bansart Christophe, université-de-Nice-Sophia-Antipolis,  
France

Campillo Valérie, université-Paul-Cézanne-Aix-Marseille 3,  
France

Carrey Jean-Christophe, université-de-Nice-Sophia-Antipolis,

France

Ladage Caroline, université-de-Provence, France

Peguin Denis, université-de-Provence, France

Sigal Martine, université-Paul-Cézanne-Aix-Marseille 3, France

Simonian Stéphane, université-de-Provence, France

Amor Ben Ali, ISEFC, université-de-Tunis, Tunisie

Wajdi Gorbaa, université-de-Sousse, Tunisie

Besma Ben Salah, ISET de Sousse, Tunisie

Atf Azzouna, FST de Tunis, université-d'El-Manar, Tunisie

***Comité de Lecture***

Présidence : Kamel Bouraoui, ISEFC, université-de-Tunis

***Comité de Parrainage***

Med Hassine Fantar, université-d'El-Manar, Tunisie

