



# **Évaluation de la maîtrise des concepts de la mécanique chez des étudiants et des professeurs<sup>1</sup>**

## **Evaluation of students' and teachers' mastery of mechanics concepts**

**J. Bernardino LOPES**

Secção de Física  
UTAD Quinta de Prados,  
5000 Vila Real, Portugal.

**Nilza COSTA**

Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa  
U. Aveiro  
3800 Aveiro, Portugal.

**Annick WEIL-BARAIS**

UFR SPSE, Université Paris X-Nanterre  
200, avenue de la République  
92001 Nanterre cedex 1, France.

**Andrée DUMAS-CARRÉ**

Institut Universitaire de Formation des Maîtres  
63, La Canebière  
13232 Marseille cedex 1, France.

## **Résumé**

*Cet article rend compte d'une étude de validité de quatre types d'épreuves composant un test d'évaluation des concepts en mécanique (TECM) : deux épreuves de jugement d'énoncés (dites épreuves déclaratives) avec ou sans contexte, une épreuve de type carte conceptuelle et une épreuve de modélisation. Les réponses fournies par sept groupes de sujets différenciés selon leur niveau de formation en physique (collège, lycée, université) et de pratique (élèves ou professeurs) ont été analysées selon la méthode par "cluster". Les résultats obtenus permettent de déterminer sur quels aspects des concepts les changements cognitifs interviennent et de discuter du choix des épreuves.*

**Mots clés :** *évaluation, mécanique, modélisation, étude transversale, analyse par "cluster".*

## **Abstract**

*This paper presents a study of the validity for four types of questions included in an Evaluation Test for Mechanics Concepts (TECM in French). The four questions are : a declarative question with or without context, a conceptual map question and a question asking the elaboration of a model for a physical situation. We analyse, by the cluster method, the answers given by seven groups differing by their level of training in physics (high school, college, university) and by the degree of practice (students or teachers). The results enable determination of which aspects of concepts are concerned by cognitive changes and discussion of how to choose questions in the context of evaluation.*

**Key words :** *evaluation, mechanics, modelling, transversal study, cluster analysis.*

## **Resumen**

*Este artículo trata de un estudio de validez de cuatro tipos de pruebas conteniendo un test de evaluación de los conceptos en mecánica (TECM) : dos pruebas de juicios de enunciados (es decir, pruebas declarativas) con o sin contexto, una prueba de tipo carta conceptual y una prueba de modelización. Las respuestas dadas por siete grupos de sujetos diferenciados según su nivel de formación en física (Básica, Media y Superior) y de práctica (alumnos y profesores) han sido analizados según el método « cluster ». Los resultados obtenidos permiten determinar cuáles aspectos de los conceptos y cambios cognitivos intervienen y discutir la selección de las pruebas.*

**Palabras claves :** *evaluación, mecánica, modelización, estudio transversal, análisis por cluster.*

## 1. INTRODUCTION

Grâce aux nombreux travaux qui ont été réalisés sur les conceptions et les raisonnements des élèves en mécanique (par exemple : Caldas & Saltiel, 1995 ; Viennot, 1979, 1996 ; Vasconcelos, 1987) ainsi que sur la résolution de problèmes (par exemple : Dumas-Carré et al., 1992 ; Dumas-Carré & Goffard, 1993 ; Goffard & Dumas-Carré, 1993) et les processus de modélisation mettant en œuvre les grandeurs fondamentales de la mécanique (Weil-Barais & Lemeignan, 1990 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1993a, 1993b), on dispose maintenant d'un ensemble de données et d'analyses substantiel permettant d'appréhender l'évaluation des connaissances sur des bases nouvelles. Un certain nombre d'auteurs ont en effet mis en avant l'importance de concevoir des outils d'évaluation qui informent sur la structuration des connaissances des élèves ainsi que sur leur capacité à les mobiliser dans des tâches diverses (par exemple : Chauvet, 1996 ; Dumas-Carré, 1987 ; Grégoire, 1996 ; Levain, 1992 ; Saltiel, 1989 ; Wilson, 1994) et pas seulement sur leurs performances.

L'objectif du travail présenté dans cet article est d'étudier la validité d'épreuves d'évaluation conçues à partir d'analyses s'appuyant sur la théorie des champs conceptuels de Vergnaud (1987, 1993, 1994), utilisée par Lemeignan & Weil-Barais (1993a, 1993b) pour rendre compte du développement des compétences des élèves à modéliser, dans le domaine de la mécanique. Il s'agit, d'une part d'apprécier la capacité qu'ont ces épreuves à repérer des sujets de différents niveaux de formation en physique (du collège à l'université), d'autre part de rendre compte des changements cognitifs constatés d'un niveau de maîtrise à un autre.

## 2. CADRE THÉORIQUE ET PROBLÉMATIQUE

L'intérêt majeur du cadre théorique développé par Vergnaud (1987, 1993, 1994) est de prendre en considération, de manière centrale, la nature relationnelle des concepts scientifiques. Les concepts sont définis par les inter-relations qu'ils entretiennent les uns avec les autres. Par ailleurs, la construction des concepts est envisagée selon différents registres : celui des systèmes de représentation intervenant dans la communication et dans leur usage (langage naturel, graphiques, diagrammes, écritures mathématiques, etc.), celui des représentations et des activités mentales (invariants conceptuels, relationnels et opératoires) et celui des situations physiques, l'accent étant mis sur l'articulation et les correspondances entre ces différents registres.

Selon ce cadre théorique, la maîtrise des concepts ne se traduit pas seulement par un bon usage du langage et des systèmes de représentation symbolique, mais aussi par la capacité à les utiliser pour construire des représentations des situations pour des finalités diverses : expliquer ou prévoir un phénomène, contrôler l'évolution d'un dispositif, le fabriquer, le dépanner, etc. C'est donc la capacité à modéliser des situations physiques en vue de répondre à des questions à leur propos qui constitue le critère le plus accompli de la maîtrise des concepts. Ainsi Lemeignan & Weil-Barais (1994) considèrent-ils que la formation des concepts en mécanique relève d'un processus de développement que l'enseignement a pour fonction d'accompagner, en proposant des constructions progressives s'appuyant à la fois sur un enrichissement des invariants définissant les concepts, sur l'adoption de systèmes symboliques de plus en plus élaborés ainsi que sur une extension des classes de problèmes abordables à l'aide des concepts. Ils montrent, pour les différentes grandeurs étudiées [(E) = Énergie, (F) = Force, (P) = Quantité de mouvement], les filiations possibles entre les conceptualisations premières des élèves et les modélisations faisant appel à ces grandeurs ainsi que les ruptures cognitives à opérer. Dans leur perspective qui emprunte à Cassirer (1910), les concepts sont des constructions intellectuelles ayant un statut hypothétique et un statut d'outils cognitifs, au service de l'action et de l'intelligibilité du monde.

Partant des analyses détaillées des grandeurs fondamentales de la mécanique proposées par Lemeignan et al. (1988), Lemeignan & Weil-Barais (1993a, 1993b, 1994), qui explicitent les différents registres de définition des concepts, nous avons conçu un ensemble d'épreuves mobilisant ces registres à des degrés divers. Ces épreuves ont été présentées à différents groupes de sujets différenciés par leur niveau de formation en physique et par leur statut (élèves de l'enseignement obligatoire, étudiants d'université en physique, professeurs de lycée et d'université). Les questions que nous nous posons sont les suivantes. Ces épreuves sont-elles adaptées aux différentes catégories de sujets ? Qu'est-ce qui différencie les différents groupes de sujets du point de vue de la maîtrise des concepts ? Y a-t-il des épreuves plus adaptées que d'autres pour évaluer les connaissances des sujets ?

### **3. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE**

#### **3.1. Description de l'instrument d'évaluation des connaissances**

Il s'agit de mettre en relation la maîtrise des concepts, évaluée par des

épreuves déclaratives, avec la maîtrise de ces concepts dans une activité de modélisation d'une situation.

Nous avons conçu différents types d'épreuves visant à évaluer, chez les sujets, les invariants (conceptuels, relationnels, opératoires) afférents aux concepts, aux plans déclaratif et fonctionnel, les systèmes symboliques maîtrisés par les sujets ainsi que le champ expérimental qu'ils sont capables d'explorer avec les concepts. Ces différentes épreuves constituent le **TECM** (test d'évaluation des concepts en mécanique). La version du TECM présentée ici résulte d'une première étude au cours de laquelle on a contrôlé l'adéquation des formulations auprès de trois types de sujets : des élèves de lycée ayant eu une année d'enseignement de mécanique, un professeur de lycée et un professeur d'université.

### **3.1.1. Description des épreuves**

Deux types d'épreuve ont été conçues : d'une part des épreuves qui mettent en jeu les définitions des concepts et font donc surtout appel à des connaissances déclaratives, et d'autre part des épreuves impliquant leur utilisation pour rendre compte d'une situation physique, appelant ainsi une activité de modélisation.

#### **a) Au plan déclaratif, trois épreuves ont été conçues**

Deux épreuves proposent des énoncés (figures 2 et 3), le sujet devant choisir ceux qu'il considère comme pertinents pour définir différents concepts (F, P et E). Pour l'épreuve présentée en premier, on n'indique pas de situation physique particulière, alors que pour l'épreuve présentée en troisième position, une situation physique susceptible de mobiliser les trois grandeurs E, F et P est évoquée (figure 1). Dans la suite de l'article, la première épreuve est appelée « déclarative sans contexte » (« nonCUM »), la seconde « déclarative avec contexte » (« CUM »).

Les énoncés proposés (figures 2 et 3) ne correspondent pas aux énoncés définitoires que l'on trouve habituellement dans les livres scolaires et universitaires. Ils sont issus d'une analyse épistémologique des concepts ; du point de vue psychologique, ils ont, pour la plupart, un statut métacognitif<sup>2</sup> et font appel à des concepts très généraux comme « système », « état », « transfert », « conservation ». Si on considère que, dans la compréhension d'énoncés, les connaissances des sujets interviennent, les énoncés composant le test ne peuvent pas être considérés comme identiques du point de vue des significations qu'ils véhiculent pour tous les sujets. C'est à travers le choix des énoncés qu'ils retiennent que sont inférées les significations attribuées aux différents concepts.

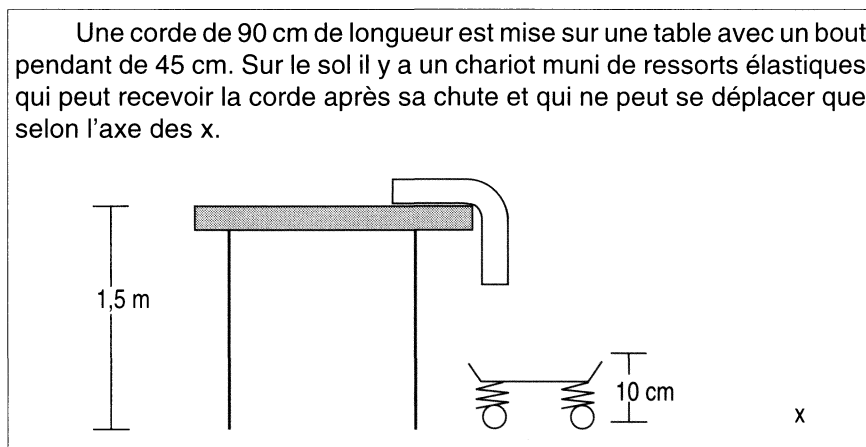


Figure 1 : **Situation «corde»**

Une épreuve demande d'exprimer des relations entre « concepts ». On donne aux sujets 22 étiquettes sur lesquelles sont écrits des mots désignant des grandeurs (force, quantité de mouvement, énergie, masse, vitesse, accélération, travail, puissance) ou des spécifications de grandeurs (énergie potentielle et cinétique, forces conservatives et non conservatives), une relation d'invariance (conservation), des entités (particules, systèmes isolé et non isolé), des relations (variation de, dégradation), des éléments descriptifs de phénomènes (frottement, déplacement, position), une entité mathématique (vecteur). On demande de disposer les étiquettes et de les relier par un trait de façon à exprimer des significations physiques. Cette épreuve s'inspire de la technique des cartes conceptuelles mise au point par Novak (1990). Dans la suite de l'article, cette épreuve sera désignée par « épreuve carte conceptuelle » (« CARTE »).

### **b) Épreuve de modélisation**

Plusieurs épreuves imposant la construction d'une représentation explicite des situations ont été conçues. Il s'agit d'épreuves de modélisation explicite. Les sujets sont interrogés sur des situations physiques particulières présentées sous forme d'énoncés écrits assortis d'un schéma de la situation évoquée. Dans le TECM, ces épreuves sont au nombre de quatre. La formulation des questions est telle qu'elle focalise plus ou moins l'attention du sujet sur la nécessité d'utiliser telle ou telle grandeur physique. Dans cet article, une seule de ces épreuves de modélisation explicite (appelée par la suite « Modélisation ») sera exploitée. Il s'agit de la situation « corde » déjà utilisée dans l'épreuve « CUM » (voir figure 1). La question posée est la suivante : « *Considérez la situation « corde ». Imaginez que vous vouliez connaître la position et la vitesse du point au milieu de la corde*

*pour tout instant dès qu'elle commence à chuter. Ce qu'on vous demande dans cette question ce n'est pas de résoudre mais de représenter ce qui arrive, de telle façon que cela vous permette de répondre à ce problème. Utilisez des dessins, des schémas, des diagrammes, des mots, des expressions mathématiques ou d'autres représentations que vous jugez appropriées. »*

L'intérêt de la situation « corde » réside dans le fait que l'objet « corde » ne remplit pas sa fonction habituelle de transmission et, par conséquent, sa conceptualisation pose problème, de même que la modélisation de l'ensemble de la situation. La corde doit être conceptualisée comme un objet déformable ayant une masse. Selon les instants, il est nécessaire de prendre en compte des systèmes en interaction et des événements différents. Au début de la chute, c'est l'ensemble des interactions entre la table, la corde et la Terre qui est à considérer ; elle peut s'analyser en termes de Force et/ou Énergie et/ou Quantité de Mouvement. Pendant la chute « libre » de la corde, c'est l'interaction corde - Terre qui doit faire l'objet d'une représentation en termes de force et d'énergie. Au moment de la collision entre la corde et le chariot, c'est l'interaction corde - chariot qui est à considérer, analysable en termes d'énergie et de quantité de mouvement. Au moment du déplacement du chariot, c'est l'interaction {corde - chariot} - sol - Terre qui est à prendre en compte en termes de force et/ou énergie et/ou quantité de mouvement. De fait, ce qui se passe pour le chariot est à inférer par le sujet. En effet, si tous les sujets prévoient bien que la corde va tomber sur le chariot et, considérant la hauteur de la table, celle du chariot et la longueur de la ficelle, ils prévoient aussi que la corde ne sera jamais à la fois en interaction avec la table et le chariot ; par contre, ils ont des difficultés à imaginer ce qui se passe pour le chariot après la chute de la corde. Ils doivent donc l'inférer et leur inférence est fonction de la conceptualisation qu'ils font de la corde et de sa chute. Si les sujets n'envisagent pas une composante horizontale de la vitesse de la chute de la corde, ils n'inféreront pas le déplacement horizontal du chariot mais un déplacement vertical et oscillant.

Les caractéristiques des questions extraites du TECM présentées dans cet article sont récapitulées dans le tableau 1.

Épreuves	Situation physique	Format de la question
nonCUM	non évoquée	Associer des énoncés aux grandeurs F, E, P.
CARTE	non évoquée	Construire une carte conceptuelle.
CUM	situation « corde »	Associer des énoncés aux grandeurs F, E, P.
Modélisation	situation « corde »	Représenter l'évolution de la situation physique.

Tableau 1 : **Caractéristiques des épreuves**

### **3.1.2. Comparaison des épreuves par rapport aux dimensions d'analyse**

Nous nous attendons à ce que la diversité des épreuves permette de cerner les différents registres de fonctionnement des concepts mobilisés par les différents groupes de sujets. C'est donc la comparaison des réponses données aux différentes épreuves qui est susceptible de nous informer sur ce thème.

Dans le tableau 2 nous récapitulons les différences *a priori* (à partir d'une analyse experte) existant entre les épreuves prises deux à deux, selon les critères qui suivent.

**Le champ conceptuel** : c'est l'ensemble des concepts mobilisés ainsi que leurs relations. Si on compare l'épreuve « nonCUM » et « CARTE », le champ conceptuel est plus grand dans la seconde épreuve, puisque les sujets disposent de 22 « étiquettes conceptuelles » à relier, ce qui est noté par « + » dans le tableau. Si le champ conceptuel est identique, ce qui est le cas entre « CUM » et « nonCUM », on indique le signe « = ». Si le champ conceptuel est moindre, on indique « - ».

**Les invariants** : nous considérons ici à la fois la diversité des invariants (relationnels, conceptuels et opératoires) et leur nombre (l'analyse *a priori* a été faite item par item ; le tableau ne présente qu'une comparaison globale). Si la comparaison n'est pas possible il n'y a pas de signe.

**La modélisation** : elle est demandée explicitement dans l'épreuve « Modélisation » sous la forme d'une représentation mais elle est également requise pour traiter la situation « CUM », sans toutefois être demandée.

**L'usage de systèmes symboliques** de type diagramme ou de type mathématique : ils peuvent être utilisés dans la réponse à l'épreuve « Modélisation » sans être indispensables.

Le champ expérimental n'est pas spécifié dans le tableau parce que, lorsqu'il est explicité aux sujets, il est constant (« CUM » et « Modélisation »). En ce qui concerne les autres épreuves, nous ne sommes pas en mesure de connaître les situations auxquelles les sujets se réfèrent.



Comparaison entre épreuves	Champ conceptuel	Invariants	Modélisation	Systèmes symboliques
nonCUM → CUM	=	=	+	=
nonCUM → CARTE	+		=	
nonCUM → Modélisation	+	+		+
CUM → CARTE	+	=	-	
CUM → Modélisation	+	+	++	+
CARTE → Modélisation	=		+	

Tableau 2 : Comparaison des épreuves du TECM selon les registres de fonctionnement mobilisés (= identique ; + supérieur ; - moindre ; “sans signe” pas comparable)

### 3.2. Les sujets

Le TECM a été présenté, au cours de l'année scolaire 95 - 96, à 75 sujets appartenant à sept groupes : des élèves de collège et lycée, des étudiants et des professeurs de lycée et d'université du nord du Portugal. La version originale du TECM est écrite en langue portugaise. Les caractéristiques des différents groupes (qualifiés ultérieurement de « naturels » par opposition aux groupes de niveau issus de l'analyse des réponses) sont présentées dans le tableau 3.

Groupes de sujets	G1 élèves Collège	G2 élèves Lycée	G3 élèves Lycée	G4 étudiants 1 <sup>er</sup> cycle universitaire	G5 étudiants licence	G6 prof. de physique et chimie de lycée	G7 prof. de physique de l'université
Âge	14-15	16-17-	17-18				
Scolarité	9 <sup>ème</sup>	11 <sup>ème</sup>	12 <sup>ème</sup>	2 <sup>ème</sup> année université	4 <sup>ème</sup> année université	Formation niveau Licence	DEA ou Doctorat en Physique
Pratique en mécanique de mécanique	1 année d'enseignement de mécanique	2 années d'enseignement de mécanique	3 années d'enseignement en mécanique	2 modules semestriels de la licence	Tous les modules de mécanique au Lycée	Enseignement de mécanique en licence	Enseignement de mécanique
Nombre d'établissements concernés	4	2	2	3	2	4	3
Nombre de sujets	16	9	10	15	11	6	8

Tableau 3 : Caractérisation des sujets

Bien que nous nous soyons attachés à diversifier les établissements d'enseignement, les groupes de sujets ne peuvent pas être considérés comme représentatifs des populations de référence.

### **3.3. Administration du TECM**

Les sujets étaient informés qu'il s'agissait d'un travail de recherche sur l'apprentissage de la physique s'appuyant sur des activités de résolution de problèmes, l'anonymat étant garanti. Les élèves ont répondu individuellement en présence de leur professeur (pour les collégiens et les lycéens), en présence d'un professeur non impliqué dans leur formation (pour les étudiants), sans cette présence pour les professeurs.

Aucune limite de temps n'a été imposée pour répondre au TECM. De façon générale, les temps de réponse et leur dispersion ont augmenté avec le niveau de formation des sujets : de 40 minutes en moyenne jusqu'à environ 120 minutes.

Tous les sujets pouvaient consulter des documents (livres scolaires ou cours), à leur convenance. Mais nous avons pu constater que les élèves et les étudiants n'y ont pas eu recours.

## **4. LE TRAITEMENT DES RÉPONSES AU TECM**

Les réponses données aux quatre épreuves ont fait l'objet d'une exploitation, épreuve par épreuve, de façon à repérer s'il est possible de définir des catégories hiérarchisées de sujets à partir de l'ensemble des unités de réponses données à chaque épreuve. Sur la base de ce premier ensemble d'analyse, on a procédé à une analyse globale et à des mises en relation entre épreuves pour tenter de valider les analyses *a priori* qui en furent faites.

### **4.1. Épreuves « nonCUM » et « CUM »**

L'exploitation des réponses est similaire pour ces deux épreuves. La démarche suivie pour l'analyse est illustrée par l'exploitation des réponses à la question « nonCUM ». Quatorze énoncés présentés dans la figure 2 ont été proposés aux sujets.

- |   |
|---|
| <p>1 – La force est une propriété des corps : ils l'ont ou ils ne l'ont pas.</p> <p>2 – Elle* n'existe pas mais elle décrit des interactions entre systèmes.</p> <p>3 – Elle ne s'utilise que quand il y a des chocs.</p> <p>4 – Elle n'agit que quand il y a des variations de vitesse ou des déformations.</p> <p>5 – Si le système est isolé elle se conserve.</p> <p>6 – Elle se conserve, pourtant elle se dégrade quand il y a des transferts.</p> <p>7 – C'est une grandeur qui aide à caractériser l'état d'un système.</p> <p>8 – Elle peut se transformer d'une forme à une autre.</p> <p>9 – Plus on l'utilise moins il y en a.</p> <p>10 – Elle est nécessaire pour qu'un corps ait une vitesse constante.</p> <p>11 – Elle augmente quand la vitesse augmente.</p> <p>12 – Sa conservation sous la forme strictement mécanique est associée à des forces conservatives.</p> <p>13 – Pour l'utiliser correctement il est nécessaire de définir le système physique à considérer.</p> <p>14 – Avec elle on peut prévoir l'accélération qu'un système acquiert.</p> |
|---|

Figure 2 : **Énoncés de l'épreuve « nonCUM »**

(\*) Dans le questionnaire il est dit explicitement que « elle » désigne une grandeur physique qui peut être E et/ou P et/ou F.

Comme les sujets avaient le choix d'associer à chaque énoncé une ou plusieurs des grandeurs E, F et P, ou de rejeter l'énoncé ou de douter (ce qui fait 10 réponses possibles), on a théoriquement 140 variables dichotomiques (10 x 14) pour rendre compte des réponses émises.

Le tableau 4 explicite le codage effectué pour chaque énoncé. Cet extrait de protocole de données (tableau disjonctif) est relatif à trois sujets (S) et à un seul énoncé.

On note :

F1 : réponse Force à l'énoncé 1 ;

P1 : réponse Quantité de mouvement à l'énoncé 1 ;

E1 : réponse Énergie à l'énoncé 1, et toute combinaison de F, P et E ;

R1 : refus de l'énoncé 1 ;

D1 : doute quant à l'énoncé 1 ;

?1 : non réponse.

Énoncé 1										
	F1	P1	E1	FP1	FE1	PE1	FPE1	R1	D1	?1
S1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Tableau 4 : **Illustration de la forme de construction des tableaux de données pour les épreuves « nonCUM » et « CUM »**

En ce qui concerne l'épreuve « CUM », les énoncés (présentés dans la figure 3) ont fait l'objet du même codage.

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1 – Elle* aide à caractériser l'état du système à un moment donné.</li> <li>2 – Elle peut être transférée au système chariot.</li> <li>3 – Elle peut être transférée au système chariot et changer de forme.</li> <li>4 – Elle n'aide pas à caractériser l'état du système corde à un moment quelconque.</li> <li>5 – Elle ne peut être utilisée que dans l'espace vectoriel.</li> <li>6 – Elle décrit l'interaction du système corde et d'autres systèmes.</li> <li>7 – En étant transférée, elle ne peut apparaître que sous une forme.</li> <li>8 – En étant transférée, elle peut apparaître sous diverses formes</li> <li>9 – Elle se conserve pour le système corde.</li> <li>10 – Elle se conserve si nous considérons le système corde - table - Terre.</li> <li>11 – Elle se conserve dans l'interaction corde - chariot.</li> <li>12 – Elle ne peut pas être transférée au système chariot ni changer de forme.</li> <li>13 – En étant transférée, elle obéit à des règles de conservation selon chacune des trois dimensions de l'espace vectoriel.</li> </ol> |
|--|

Figure 3 : **Énoncés de l'épreuve « CUM »**

(\*) Dans le questionnaire il est dit explicitement que « elle » désigne une grandeur physique qui peut être E et/ou P et/ou F.

#### 4.2. Épreuve « CARTE »

Les réponses à cette épreuve ont été analysées selon les critères suivants :

- le nombre d'ensembles isolés de mots<sup>3</sup>,

- le caractère exhaustif ou non de l'utilisation des mots,
- l'adjonction ou la non adjonction de mots aux 22 mots fournis,
- le nombre de liaisons entre mots réalisées indépendamment de leur pertinence,
- le type d'organisation des concepts autour de F (catégorielle ou relationnelle ou complexes de style structure en étoile ou structure en chaîne),
- le type d'organisation des concepts autour de E (idem),
- les liaisons entre les trois grandeurs E, F et P et les autres mots, par exemple avec vecteur, puissance, masse, accélération, vitesse, position, travail, etc.

Les sujets ayant fait peu de regroupement avec P, il n'a pas été utile de caractériser l'organisation autour de cette grandeur.

Au total, 88 variables dichotomiques (présence/absence) ont été nécessaires pour exploiter les réponses à cette épreuve donnant lieu à l'établissement d'un tableau similaire en construction au tableau 4.

### 4.3. Épreuve « Modélisation »

Les réponses à cette épreuve ont été analysées en prenant en compte les aspects suivants :

- le type de représentation de la situation (figuratif, bande dessinée, schématique, ou mathématique) ;
- la complétude générale de la description ;
- les événements modélisés (le début de la chute, la chute de la corde, la collision de la corde avec le chariot, le mouvement du chariot) ;
- l'examen des conditions expérimentales (explicitation ou non des conditions expérimentales : présence de l'air, existence de frottements, caractère déformable ou non de la corde, etc.) ;
- les grandeurs physiques utilisées dans la modélisation (F, E, P) ;
- la conceptualisation des objets (corde et chariot) ; par exemple la corde peut être conçue comme un point de masse constante, ou comme un point de masse variable, ou comme un corps avec des dimensions ;
- la conceptualisation des événements ; par exemple, la chute de la corde peut être conçue comme une chute libre, ou comme une chute à

accélération variable uniquement dans la direction verticale, ou comme une chute à accélération variable selon les composantes verticale et horizontale, ou comme une chute à accélération variable à cause du frottement, etc. ;

– le type d’expression de la modélisation (qualitatif - par exemple si la corde tombe, sa vitesse augmente - ou quantitatif - par exemple  $v = g.t^4$ ) ;

– la cohérence de la modélisation (évaluée par le chercheur d’après l’adéquation entre la description phénoménologique fournie par le sujet et la conceptualisation de la situation – par exemple un sujet qui considère la corde comme un point de masse constante et qui envisage un mouvement dans la direction horizontale produit une modélisation incohérente de la situation) ;

– les invariants opératoires dont on trouve la trace dans les réponses (découpage temporel, choix d’un référentiel, sélection des événements, constitution de systèmes, décomposition des grandeurs vectorielles, etc.) ;

– les invariants conceptuels mobilisés pour chaque grandeur (force, quantité de mouvement, énergie) ;

– le caractère adéquat ou non de l’utilisation des invariants eu égard à la conceptualisation de la situation (par exemple un système peut être considéré comme isolé, ce qui peut être inadapté compte tenu des conditions expérimentales indiquées) ;

– les caractéristiques des différents systèmes symboliques de représentation utilisés ; on a différencié les différents usages du langage naturel - descriptif, dénotatif, explicatif, les types de graphiques – figuratif, schématique –, et d’expressions mathématiques - arithmétiques, algébriques, géométriques, calculs vectoriels, infinitésimal ;

– les raisons de non réponse (ne sait pas, difficile).

Au total, 100 variables dichotomiques ont été nécessaires pour coder les réponses à l’épreuve de modélisation.

#### 4.4. Technique d’analyse

Les tableaux disjonctifs ont été soumis à une classification automatique de type « *tree clustering* » (logiciel “Statistica”). La classification est basée sur les co-occurrences de réponses et des mesures de proximité entre réponses. L’analyse fournit une structure arborescente dont les branches peuvent être des sujets ou des variables. On peut ainsi procéder à une classification des sujets ou des variables selon les besoins.

## 5. ANALYSE DES RÉPONSES PAR ÉPREUVE

### 5.1. Épreuve « NonCUM »

La classification des sujets prenant en compte l'ensemble des variables descriptives des réponses à cette épreuve est indiquée dans la figure 4.

Pour obtenir les catégories de sujets, on a choisi une distance raisonnable dans les graphiques obtenus telle que le nombre de catégories de sujets homogènes ne soit ni trop petit (trop fort regroupement) ni trop grand. Pour cette question, la distance retenue, dans la méthode statistique utilisée est de 0,7. Les sous-catégories retenues correspondent aux premiers embranchements situés à une distance plus faible.

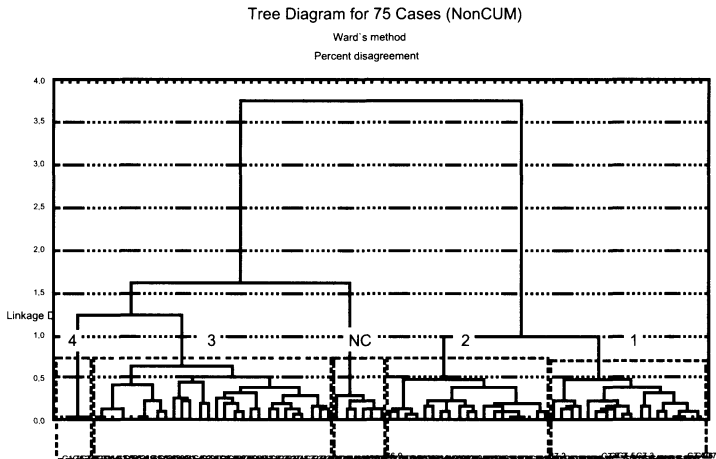


Figure 4 : Classification des sujets d'après l'épreuve « nonCUM »

Pour chacun des regroupements, nous recherchons les caractéristiques générales de l'ensemble des réponses. Par comparaison de ces caractéristiques, et en respectant la structure arborescente des regroupements, nous établissons ainsi une hiérarchie entre quatre catégories de sujets. Nous attribuons arbitrairement le nombre 1 à la catégorie qui correspond à la meilleure maîtrise des concepts<sup>5</sup>. La cinquième catégorie (NC) concerne des sujets qui s'abstiennent de répondre à la majorité des énoncés. La répartition des sept groupes « naturels » dans les catégories ainsi obtenues (voir tableau 5) fait apparaître une grande dispersion des individus, avec une tendance à ce que les élèves faiblement expérimentés en mécanique soient plus nombreux dans les catégories 3 et 4 et les plus expérimentés, dans la catégorie 1. La catégorie 2 n'est pas discriminante.

Groupes \ Catégories	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4	NC
G1, Collège					2	9	4	1
G2, Lycée			1		6			2
G3, Lycée			5	1	3			1
G4, Université (premier cycle)	2		3	2	7			1
G5, Université licence	3	4	3	1				
G6, Professeur Lycée	2		2		1			1
G7, Professeur Université	7		1					
Ensemble	14	4	15	4	19	9	4	6

Tableau 5 : Répartition des sujets selon les catégories de réponses pour l'épreuve « nonCUM » (NC = non classable)

Si on examine les réponses qui caractérisent chaque catégorie de sujets (tableau 6), il apparaît que c'est à propos de la force et de l'énergie que les catégories de sujets se différencient le plus ainsi que sur l'extension du champ expérimental appréhendable par les grandeurs.

Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4
La force n'est pas une propriété des corps.	idem	F est une propriété des corps	idem
Toute grandeur peut être utilisée pour toute situation.	idem	L'utilisation de P est limitée aux situations de chocs	doute
E est la seule grandeur qui peut changer de forme.	idem	idem	doute
E ou P décrivent les systèmes et leurs transformations.	indéfini	indéfini	doute
F n'est pas nécessaire pour qu'un corps ait une vitesse constante.	idem (catégorie 2.1) F est nécessaire... (catégorie 2.2)	P est nécessaire pour qu'un corps ait une vitesse constante	idem
Toute grandeur a besoin, pour être bien utilisée, de la définition du système en étude.	Seulement E (catégorie 2.2)	Seulement F (catégorie 3.2)	Seulement E
La conservation de E sous la forme strictement mécanique est associée à des forces conservatives.	idem	idem	doute
L'utilisation de F permet de prévoir l'accélération d'un système sous certaines conditions.	idem	idem (catégorie 3.1) C'est P qui permet... (catégorie 3.2)	C'est E qui permet...
F associée aussi à des situations sans variation de vitesse ni déformation (seule catégorie 1.1).	Seulement avec variation de vitesse déformation	idem	doute
E et P sont conservées dans un système isolé (seule catégorie 1.1).	Seule E	Idem, mais l'énergie utilisée diminue	E se perd
P augmente quand la vitesse augmente.	idem	idem	F augmente ...

Tableau 6 : Réponses par catégories (épreuve « nonCUM »)



On retrouve l'association force - vitesse comme caractérisant un faible niveau d'expertise, mais pas seulement. Les différences entre catégories, qui peuvent être considérées comme correspondant à des niveaux différents d'appréhension du champ conceptuel, ne s'expriment pas entièrement en termes d'accumulation de propositions valides. Si on compare les groupes de sujets, il semble que la formation contribue à des réorganisations conceptuelles assez locales, différentes selon les sujets. Par exemple, un sujet peut accepter de considérer que l'énergie soit associée à un transfert sans pour autant remettre en cause que la force soit une propriété des objets. Chez les sujets, peuvent coexister des propositions contradictoires, sans qu'ils en aient forcément conscience. Il semble que la formation provoque des modifications locales du concept d'énergie mais n'en provoque pas dans le concept de force. Pour ce dernier concept, les modifications sont globales et apparaissent seulement chez des sujets ayant un niveau élevé de formation. Pour les catégories 3 et 4, il arrive que des propriétés caractéristiques de F soient attribuées à P ou à E.

Dans l'ensemble, la complexité de la structure des données traduit la variabilité des propositions retenues par les sujets, pour la définition des trois grandeurs.

## 5.2. Épreuve « CUM »

La classification des sujets qui prend en compte l'ensemble des variables descriptives des réponses à cette épreuve (selon la même technique que celle utilisée pour l'épreuve « nonCUM ») fait ressortir six catégories hiérarchisées de sujets. Leur répartition dans les groupes naturels est indiquée dans le tableau 7.

Groupes \ Catégories	1	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	5	6	NC
G1, Collège				1			4	2	4	1	2
G2, Lycée					1	2	2	1		3	2
G3, Lycée				3		1	3			1	2
G4, Université (premier cycle)	1	2	1	4	2	3		1		2	
G5, Université licence	2	2	2	1	3	1					
G6, Professeur Lycée	1	1	1					1			2
G7, Professeur Université	8										
Ensemble	12	5	4	9	6	7	9	5	4	7	8

Tableau 7 : Répartition des sujets selon les catégories de réponses pour l'épreuve « CUM » (NC = non classable)

Comparativement à l'épreuve « nonCUM », pour laquelle, rappelons-le, aucun contexte expérimental n'était évoqué, les réponses à cette épreuve discriminent mieux les sujets selon leur niveau d'expertise en mécanique, avec quelques nuances. Les groupes homogènes sont uniquement les professeurs d'université (catégorie 1). Les élèves (G1, G2 et G3) se répartissent dans les catégories 3 à 6. Les étudiants de 2<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> année d'université (G4 et G5 respectivement) sont aussi dispersés. Ceux qui sont en 2<sup>ème</sup> année d'université (G4) sont très hétérogènes et appartiennent aussi bien à des catégories représentatives des lycéens (catégories 4, 5 ou 6) que des catégories représentatives des professeurs d'université (catégorie 1). Les catégories 1 et 2 ne comportent que des étudiants et les professeurs (G4 à G7).

Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4	Catégorie 5	Catégorie 6
Toute grandeur aide à caractériser l'état du système à un moment donné	Seule E ou F	combinaisons de F, P, E	E ou P (4.1) Doute (4.2)	Seule F	Indéfini
P et E peuvent être transférées au système chariot	Idem	P ou F	E (4.1) doute (4.2)	E	F
Il n'y a que E qui puisse changer de forme	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem
Seules P et F peuvent être travaillées dans l'espace vectoriel	P (2.1) P et F (2.2)	Refuse (3.1) Doute (3.2) F et/ou P (3.3)	F	F	Indéfin
Il n'y a que F qui décrive l'interaction du système corde avec d'autres systèmes	Idem	Idem	F ou P (4.1) Non réponse. (4.2)	P	E
Ce n'est que E, qui étant transférée, peut apparaître sous diverses formes	Idem (2.1) Doute (2.2)	Idem	F ou P (4.1) Non rép. (4.2)	P	P
Aucune grandeur ne se conserve pour le système corde	Doute	F, P ou E se conserve...	E se conserve...	P se conserve...	F se conserve
E et P se conservent pour le système corde – table – Terre	Idem (2.1) Doute (2.2)	E se conserve	E ou F (4.1) Doute (4.2)	F	Non réponse
Dans l'interaction corde – chariot, E se conserve et change de forme	Idem pour P	Doute Doute (4.2)	F (4.1)	P	Non réponse
Seule la grandeur P, en étant transférée, obéit à des règles de conservation selon chacune des trois dimensions de l'espace vectoriel	Idem	Non reconnu (3.1,3.2) E (3.3)	F	F	Non réponse

Tableau 8 : Réponses par catégories (épreuve « CUM »)

Si on examine les réponses qui caractérisent chaque catégorie de sujets (tableau 8), il semble que la spécification d'une situation et de systèmes conduise les sujets à être moins assurés quant à la conservation

des grandeurs, excepté chez les professeurs d'université pour qui les propriétés des concepts semblent être stables. Pour les sujets de la catégorie 2, il semblerait que les doutes concernant la définition des concepts soient liés à leur incertitude quant à la modélisation de la situation, dans l'hypothèse où ils admettraient une permanence de la définition des concepts. Quant aux sujets des catégories 3 à 6, il semblerait qu'ils n'aient pas la moindre idée de la permanence des concepts et leurs réponses semblent liées à leur représentation personnelle de la situation.

### 5.3. Épreuve « CARTE »

La classification des sujets, à partir des variables descriptives (dichotomiques) des réponses, a fait ressortir six grandes catégories de sujets se différenciant par des organisations des concepts particulières (tableau 9).

Groupes \ Catégories	1.1	1.2	2	3.1	3.2	4	5.1	5.2	6	NC
G1, Collège					1	1	4	4	4	2
G2, Lycée					1	2				6
G3, Lycée		3	1	3		1	1			1
G4, Université (premier cycle)		3	2	3	1	3	2		1	
G5, Université licence	1		1	3	2	3				1
G6, Professeur Lycée		2	2		1		1			
G7, Professeur Université	3	4								1
Ensemble	4	12	6	9	6	10	7	4	5	11

Tableau 9 : Répartition des sujets selon les catégories de réponses pour l'épreuve « CARTE » (NC = non classable)

Dans les catégories de sujets (tableau 10) qui manifestent un bon niveau d'expertise au plan conceptuel (catégories 1 et 2), on trouve, bien entendu, des professeurs d'université mais aussi des lycéens (G3), des étudiants d'université et des professeurs de lycée. Cette épreuve discrimine bien les sujets de faible niveau d'expertise en physique (G1 et G2) et ceux de haut niveau (G7) mais peu les autres.

Indépendamment des liaisons particulières que les différentes catégories de sujets privilégient, les catégories se différencient par le nombre de regroupements de mots effectués<sup>6</sup> : un seul regroupement pour les catégories 1 et 2, deux ou plus pour les autres catégories. Ceci est associé à un nombre plus ou moins grand de liaisons entre concepts. C'est dans les catégories 1 et 2 que ces liaisons sont les plus nombreuses, avec, chez les sujets de la première catégorie, une organisation relationnelle

autour de F et E, chez ceux de la seconde catégorie, une organisation uniquement autour de E, comme dans l'épreuve « nonCUM ». De manière générale, on observe une relation inverse entre le nombre de mots considérés et le nombre de regroupements. Ceci est sans doute lié à une représentation plus ou moins unifiée du champ conceptuel de la mécanique.

De manière générale, le nombre d'ensembles isolés de concepts diminue avec le niveau de formation en physique : les sujets bien formés procèdent à un seul groupement de concepts alors que les sujets les moins formés constituent des ensembles séparés pour chacun des concepts.

Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4	Catégorie 5	Catégorie 6
Nombre de regroupement de tous les mots : 1	Idem	2 ou plus	idem	idem	3
Utilisation de tous les mots	idem	Presque tous	Il n'utilisent pas beaucoup de mots	Idem	Idem
Ils ajoutent d'autres mots (1.1)	Ils n'ajoutent pas	Idem	Idem	Idem	Idem
Grand nombre de liaisons	Nombre moyen	Petit nombre	Idem	Idem	idem
Organisation autour de F : relationnelle	Catégorielle	Catégorielle ou complexe associative	Indéfini	Catégorielle (5.1) Non utilisation (5.2)	En chaîne
Organisation autour de E : relationnelle	Idem	Non classable (3.1) Relationnelle ou catégorielle (3.2)	Non classable	Catégorielle	En chaîne
Établissement liaison directe entre F, P et/ou E	Non établissement	Idem	Idem	Idem	Idem
Liaisons qui indiquent relation de transfert (F ~ variation de, E, P)	Indéfini	Non liaisons	Idem	Idem	Idem
Liaisons qui indiquent relations de conservation (P et E ~ conservation, système isolé)	(E ~ F conservatives, conservation, système isolée)	(E ~ conservation, système isolé) (3.1) Non liaisons (3.2)	Non Liaisons	Idem	Idem
Existence de liaisons de F avec m et/ou a	Idem	Idem	Idem	Non existence	Idem
Existence de liaisons de P avec m et/ou v	Idem	Idem	Idem	Non existence	Idem
Existence de liaisons de E avec Ec (m, v) et/ou avec Ep (m, position)	Indéfini	Non liaisons	Idem	Idem	Idem

Tableau 10 : Réponses par catégories (épreuve « CARTE »)

## 5.4. Épreuve “Modélisation”

La classification qui prend en compte l'ensemble des variables descriptives des réponses à cette épreuve fait ressortir cinq grandes catégories de sujets qui se répartissent différemment selon les groupes (tableau 11).

Groupes \ Catégories	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5	NC
G1, Collège							2		14	
G2, Lycée							1		8	
G3, Lycée		2		1	1	3		2	1	
G4, Université (premier cycle)				5	1		2	2	5	
G5, Université licence			1	5			2		3	
G6, Professeur Lycée		1	1	2	2					
G7, Professeur Université	3	2	2							1
Ensemble	3	5	4	13	4	3	7	4	31	1

Tableau 11 : Répartition des sujets selon les catégories de réponses pour l'épreuve « Modélisation » (NC - non classable)

La formation en physique, dans l'épreuve « Modélisation », joue un rôle plus important (tableau 12) que dans les autres épreuves : aucun élève débutant ne se trouve dans les catégories correspondant au plus haut niveau d'expertise, et la catégorie 1 est pratiquement spécifique des professeurs d'université. Beaucoup de sujets ne répondent pas parce qu'ils ne savent pas répondre ou qu'ils considèrent l'épreuve comme trop difficile (catégorie 5). On trouve, dans tous les groupes, des sujets qui traitent la situation : donc l'épreuve est adaptée aux différents niveaux de formation.

Les sujets des groupes G3 à G6 sont dispersés dans plusieurs catégories. Le niveau de formation en physique n'est pas suffisant pour prévoir la capacité à modéliser, mais il détermine cependant la limite supérieure que peuvent atteindre les sujets. La plus forte dispersion s'observe pour le groupe G3 (élèves préparant le baccalauréat) dans lequel quelques sujets ont un niveau d'expertise équivalent à celui des professeurs d'université.

Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4	Catégorie 5
Ils explicitent les conditions expérimentales	Ils envisagent la situation comme si la conceptualisation était déjà faite	Envisagent différentes éventualités événementielles	D'emblée	Pas réponse : difficile
Conceptualisation de la corde : objet avec dimensions	Un point, sans justification	Idem	Pas de conceptualisation	--
Conceptualisation de la chute : mouvement avec accélération variable	Mouvement avec accélération constante	Idem	Pas de conceptualisation	--
Conceptualisation du choc : le choc s'effectue en plusieurs phases (1.1) ; ne disent rien (1.2)	Pas de conceptualisation	Le choc s'effectue en plusieurs phases (3.1)	Pas de conceptualisation	--
Relations entre variables : relations qualitatives entre variables	Ils écrivent des relations par rapport à position et vitesse en partant de $a = g$	Ils écrivent des relations quantitatives	N'existe pas	--
Type de prévision : ils prévoient de façon qualitative la position et la vitesse...	Ils font aussi des descriptions qualitatives (2.1) Ils font seulement des calculs (2.2)	Pas de prévisions	Idem	--
Invariants afférents aux F, P, E : ils justifient des invariants afférents aux grandeurs par référence aux conditions expérimentales	Ils n'explicitent pas les conditions d'utilisation des invariants	Indéfini	Pas d'utilisation d'invariants	-- --
Cohérence entre les conceptualisations	Idem	Pas de cohérence	Indéfini	--
Considération du système corde : ils considèrent le système corde et des interactions de ce système avec d'autres systèmes mais de manière non exhaustive	Ils n'explicitent pas les interactions du système corde avec d'autres	Idem	Idem	--
Ils font un découpage temporel	Ils ne le font pas	Idem	Idem	--

Tableau 12 : Réponses par catégories (épreuve « Modélisation »)

En résumé, les différents niveaux d'expertise repérés, à partir de l'épreuve de modélisation explicite, se caractérisent par des différences importantes quant à la manière d'aborder la situation physique et par l'usage qui est fait des invariants relationnels. Seuls les sujets de la première catégorie manifestent une véritable démarche de modélisation en spécifiant les conditions expérimentales, en discutant de la meilleure façon de se représenter les différents objets et les interactions. Ceux de la troisième catégorie en présentent les prémices puisqu'ils interrogent la

situation physique, ce que ne font pas les sujets de la seconde catégorie. Pour ceux-ci, tout se passe comme s'il y avait à déterminer la situation en fonction d'une formule connue, ce qui, comme on le sait, est une pratique scolaire fréquente. Ceci se trouve de manière encore plus manifeste chez les sujets de la catégorie 4.

## 6. ANALYSE GLOBALE

Nous avons procédé à une analyse globale à partir d'un tableau de données dans lequel chaque sujet est caractérisé par le niveau atteint à chacune des épreuves, à partir des analyses précédentes. On a procédé également à une analyse en "clusters" faisant ressortir neuf catégories de sujets inégalement répartis selon les niveaux de formation (tableau 13). On remarque qu'il n'y a pas de liaison stricte entre le niveau de formation et les compétences manifestées.

Catégories \ Groupes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NC
G1, Collège					1		3	7	4	1
G2, Lycée					1	1	1	3		3
G3, Lycée			1	3		4				2
G4, Université (premier cycle)		1	2	3	4	1	3	1		
G5, Université licence		1	5	1	1	1	2			
G6, Professeur Lycée		1	3	1						1
G7, Professeur Université	5	2	1							
Ensemble	5	5	12	8	7	7	9	11	4	7

Tableau 13 : Répartition des catégories de sujets selon l'analyse globale relative à l'ensemble des épreuves (NC - non classable)

La différenciation des catégories est imputable, en premier lieu, à l'épreuve de « Modélisation » et, en second lieu, à l'épreuve « CUM ». Les épreuves « NonCUM » et « CARTE » ont un statut équivalent. Elles ne sont pas prédictives de la réussite aux autres épreuves. Très généralement les épreuves « Modélisation » et « CUM » discriminent mieux les sujets selon leur niveau de formation que les épreuves « NonCUM » et « CARTE ». Il convient de noter que l'épreuve « Modélisation » conduit à discriminer les sujets d'un bon niveau de formation alors que l'épreuve « CUM » discrimine les sujets en début de formation. Par conséquent, ces deux types d'épreuves sont nécessaires si l'on veut rendre compte de la transformation des compétences d'un niveau à l'autre.

## 7. CONCLUSIONS ET DISCUSSION

La construction des épreuves d'évaluation des concepts de la mécanique présentées dans cet article s'appuie sur la théorie des champs conceptuels développée par Vergnaud ainsi que sur les analyses des concepts et des activités de modélisation proposées par Lemeignan & Weil-Barais (1993a, 1993b). Ce cadre théorique conduit à envisager l'évaluation des connaissances, en prenant en compte des ensembles structurés de concepts permettant de traiter des ensembles de situations. Pour des raisons de place, nous nous sommes contentés dans cet article de ne présenter qu'une seule situation, mettant plutôt l'accent sur un autre aspect intéressant de la théorie de Vergnaud, à savoir l'articulation entre les trois registres nécessaires à la construction des concepts : celui des situations, celui des systèmes de représentations symboliques et celui des représentations mentales.

Les quatre types d'épreuves mises à l'étude étaient supposés, à des degrés divers, évaluer des connaissances conceptuelles chez des sujets (élèves, étudiants et professeurs de différents niveaux) ainsi que leur évolution. Pour deux de ces épreuves, il s'agissait uniquement de tester la connaissance des propositions définitoires de concepts (épreuve « NonCUM ») ou d'explicitier des liens entre les « étiquettes verbales » des concepts relevant du champ conceptuel de la mécanique (épreuve « CARTE »). Ces deux épreuves évaluent donc l'articulation entre le registre langagier et le registre des représentations mentales afférents aux concepts. Deux autres épreuves font appel à la conceptualisation, soit qu'il s'agisse de choisir des énoncés appropriés pour rendre compte d'une situation physique (épreuve « CUM »), soit qu'il s'agisse de construire un modèle de la même situation de façon à pouvoir en prévoir l'évolution dans le temps (épreuve « Modélisation »).

Plutôt que d'établir un score global, nous avons effectué des analyses fines des réponses, dans la perspective d'identifier les caractéristiques des réponses qui différencient les niveaux d'expertise. Ceux-ci ont été estimés en considérant différents groupes de sujets : des collégiens, des lycéens, des étudiants et des professeurs (en tout sept groupes). En procédant à des analyses en "cluster", nous avons pu identifier des catégories d'expertise à l'intérieur de chaque épreuve et pu ensuite construire une typologie des sujets sur l'ensemble des épreuves. Nous avons ainsi mis en évidence que les épreuves ne mesuraient pas la même chose, ce qui conforte notre analyse *a priori* des épreuves. L'épreuve « Modélisation » s'avère être la plus difficile : elle n'est réussie que par une minorité de sujets, la connaissance des invariants définitoires des concepts (évaluée par les épreuves « CARTE » et « NonCUM ») n'étant pas suffisante pour assurer la réussite



à cette épreuve. L'épreuve de modélisation qui nécessite une articulation entre les différents registres évoqués permet donc d'apprécier le plus haut niveau de maîtrise des concepts. Il apparaît ainsi que l'évaluation des connaissances nécessite des épreuves diversifiées prenant en compte la complexité des concepts et de leur usage.

De manière assez évidente, il existe une liaison entre le niveau de formation des sujets et la maîtrise des concepts, quelles que soient les épreuves. Toutefois, on observe des différences inter-individuelles importantes qui ne sont pas moindres chez les professeurs de lycée que chez les élèves débutants en physique. Si cela peut sembler normal pour les élèves, ce l'est moins pour les professeurs de physique. Pour beaucoup d'entre eux, comme pour les étudiants d'université ou les lycéens, la modélisation pose problème, alors qu'ils sont plutôt à l'aise dans les épreuves qui évaluent un savoir déclaratif (la connaissance de définitions). Ceci peut tenir au fait qu'ils ont coutume de travailler sur un ensemble restreint de situations qu'ils savent d'emblée représenter, perdant ainsi de vue un des aspects essentiels de la démarche scientifique : la conceptualisation des situations qui ne se réduit pas à un choix de relations entre grandeurs descriptives. La plus grande expertise des professeurs d'université se manifeste essentiellement par le soin qu'ils accordent à l'examen de la situation, au découpage des événements en phases, aux questions qu'ils se posent quant à la meilleure manière d'idéaliser les objets, démarches beaucoup plus rares chez les sujets des autres groupes ayant pourtant une formation avancée en physique.

Puisqu'il s'agit d'une étude transversale, il serait bien entendu illégitime de considérer nos résultats comme rendant compte d'une évolution. Cependant, ils confortent l'idée de la complexité de la transformation des connaissances. Cette complexité est d'autant mieux mise en évidence que nous avons utilisé des épreuves diversifiées. Si nous n'avions proposé que des épreuves de type « résolution de problèmes » comme l'est l'épreuve « Modélisation », nous aurions un tableau assez sombre de la situation car peu de sujets proposent une solution adéquate. Par contre, si l'on examine les invariants conceptuels et relationnels qui sont maîtrisés ainsi que les réseaux conceptuels que les sujets sont capables de produire, on trouve une gradation de niveaux assez complexe entre le collège et l'université. Les points de rupture entre les catégories, qui ont été repérés, correspondent à des changements touchant aux différents registres évoqués : meilleure connaissance et structuration du champ conceptuel, changement de point de vue sur la situation physique et mobilisation d'invariants opératoires. Selon les grandeurs considérées (force, énergie, quantité de mouvement), ces changements interviennent à des moments différents de la formation et de manière plus ou moins globale. C'est pour la grandeur force qu'ils sont

les plus tardifs puisqu'ils nécessitent des changements de points de vue importants.

Les résultats obtenus sont à considérer en relation avec les enseignements dont les sujets ont bénéficié. Le fait que les élèves et étudiants privilégient une approche quantitative au détriment d'une approche qualitative (Dillon, 1994) de la situation physique évoquée dans l'épreuve « Modélisation » est sans doute à mettre en rapport avec le fait que l'entraînement à l'usage des formules prend une grande place dans l'enseignement habituel au lycée. Dans ce type d'épreuve, le fait de s'engager d'emblée dans une démarche quantitative, sans examen des conditions expérimentales, constitue sans aucun doute un obstacle à la réussite.

La méthodologie d'analyse employée n'a de sens que dans une démarche de recherche où il s'agit de valider des épreuves et de caractériser différents niveaux de maîtrise des concepts. Le caractère non représentatif des échantillons de sujets considérés n'a sans doute pas d'incidence sur la détermination des différents niveaux que nous avons pu repérer. Par contre, s'il s'agissait d'une évaluation ayant une visée de généralisation, il serait important de constituer des échantillons représentatifs. Bien entendu, le codage des réponses devrait être allégé, en prenant en compte les aspects qui se sont avérés discriminants des différentes catégories de sujets.

En ce qui concerne les pratiques d'évaluation dans l'enseignement de la physique, le travail présenté met en évidence l'importance d'une diversification des épreuves et surtout la nécessité d'utiliser des situations requérant une modélisation des situations physiques. L'épreuve inspirée de la technique des cartes conceptuelles, parfois utilisée comme unique moyen d'évaluation (Wilson, 1994), s'avère insuffisante pour rendre compte de la maîtrise des concepts. Si dans certaines recherches, on a pu établir que ce type d'épreuve était prédictive de la réussite aux problèmes (par exemple, la recherche d'Okebukola, 1992, en biologie), c'est que, de fait, les problèmes utilisés impliquent, à un degré moindre que dans notre étude, une activité de modélisation. Au vu des résultats obtenus, les épreuves qui apportent les informations les plus intéressantes dans une perspective d'évaluation sont les épreuves « CUM » et « Modélisation » puisqu'elles permettent à elles seules de discriminer l'ensemble des sujets des différents groupes que nous avons considérés.

Les conclusions d'ordre pédagogique qui se dégagent de ce travail concernent, d'une part, les caractéristiques des épreuves d'évaluation des connaissances ainsi que les modalités d'analyse des réponses. À côté de la diversification des épreuves, il s'avère nécessaire de conduire des

analyses descriptives susceptibles de mettre en évidence les progrès des élèves. Par ailleurs, ce travail met en relief des différences importantes concernant l'apprentissage des différents concepts : c'est pour la grandeur force que les obstacles sont les plus importants. Il faudrait en tenir compte aux différents niveaux d'enseignement. On peut également interroger les modalités de l'enseignement de la physique qui conduisent à ce que des élèves sachant assez bien définir des concepts ne soient pas en mesure de les utiliser pour traiter des situations physiques. L'étude ayant été conduite au Portugal, il pourrait être intéressant de la reprendre dans d'autres pays ayant des modalités d'enseignement différentes (en explicitant bien les différences) pour étudier dans quelle mesure celles-ci affectent la maîtrise des concepts. On pourrait ainsi apprécier ce qui relève de contraintes d'ordre cognitif et de caractéristiques de l'enseignement.

## NOTES

1. Cet article a pu être réalisé grâce à une bourse de doctorat accordée à J. Bernardino Lopes par la « Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica », Portugal.

2. Par exemple l'énoncé « c'est une grandeur qui aide à caractériser l'état d'un système » (cf. fig.2) n'est pas présenté habituellement comme définitoire de P et/ou E.

3. De fait, c'est à partir de la carte conceptuelle établie entre les mots que nous pouvons inférer si les mots sont effectivement utilisés pour exprimer certains aspects des concepts.

4. Une expression quantitative peut être fautive par rapport aux conditions expérimentales d'une situation physique comme dans l'exemple cité.

5. Cette méthode d'obtention des catégories de sujets a été utilisée pour toutes les épreuves.

6. Le centre de ces groupements peut être F, P, E ou une combinaison de deux de ces grandeurs ou une seule grandeur.

## BIBLIOGRAPHIE

CALDAS E. & SALTIEL E. (1995). Le frottement cinétique. Analyse des raisonnements des étudiants. *Didaskalia*, n° 6, pp. 55-71.

CASSIRERE. (1910). *Substance et fonction - éléments pour une théorie du concept* (traduction de P. Caussat, 1977). Paris, Les Éditions de Minuit.

CHAUVET F. (1996). Un instrument pour évaluer un état conceptuel : exemple du concept de couleur. *Didaskalia*, n° 8, pp. 61-79.

- DILLON C. (1994). Qualitative reasoning about physical systems-an overview. *Studies in Science Education*, vol. 23, pp. 39-57.
- DUMAS-CARRÉ A. (1987). *La résolution de problèmes au lycée ; le procédural : apprentissage et évaluation*, Thèse d'État, Université Paris 7.
- DUMAS-CARRÉ A., GOFFARD M. & GIL-PEREZ D. (1992). Difficultés des élèves liées aux différentes activités cognitives de résolution de problèmes. *Aster*, n° 14, pp. 53-75.
- DUMAS-CARRÉ A. & GOFFARD M. (1993). Des activités de résolution de problèmes pour l'apprentissage. *Les sciences de l'éducation*, vol. 4-5, pp. 9-32.
- GOFFARD M. & DUMAS-CARRÉ A. (1993). Le problème de physique et sa pédagogie. *Aster*, n° 16, pp. 9-28.
- GRÉGOIRE J. (1996). *Évaluer les apprentissages - Les apports de la psychologie cognitive*. Paris - Bruxelles, De Boeck.
- LEMEIGNAN G., WEIL-BARAIS A., GOFFARD M. & CHAVY F. (1988). Enseignement et apprentissage d'un concept par les élèves : la quantité de mouvement en classe de seconde. *Bulletin de L'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 1013-1030.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993a). Gestion d'activités de modélisation en classe. *Aster*, n° 7, pp. 121-141.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993b). *Construire des concepts en Physique*. Paris, Hachette.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1994). A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, vol. 16, n° 1, pp. 99-120.
- LEVAIN J.-P. (1992). La résolution de problèmes multiplicatifs à la fin du cycle primaire. *Educational Studies in Mathematics*, n° 23, pp. 139-161.
- NOVAK J.-D. (1990). Concept mapping : a usefull tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, n° 27, pp. 937-949.
- OKEBUKOLA P.-A. (1992). Can good concept mappers be good problem solvers in science ? *Educational Psychology*, vol. 12, n° 2, pp.113-129.
- SALTIEL E. (1989). Les exercices qualitatifs fonctionnels. In *Actes du colloque sur les finalités des enseignements scientifiques*. Marseille, CCSTI Provence Méditerranée et groupe de recherche en didactique de la physique, pp. 113-121.
- VASCONCELOS N. (1987) *Motion and Forces : a view of student's in relation to physics teaching.*, PhD Thesis, University of London.
- VERGNAUD G. (1987). Les fonctions de l'action et de la symbolisation dans la formation des connaissances chez l'enfant. In J. Piaget, P. Mounoud & J.-P. Bronckart (Éds), *Encyclopédie de la Pléiade Psychologie*. Paris, Gallimard, pp. 821-844.
- VERGNAUD G. (1993). Signifiants et signifiés dans une approche psychologique de la représentation. *Les sciences de l'éducation*, vol. 1-3, pp. 9-16.
- VERGNAUD G. (1994). Homéomorphismes réel-représentation et signifié-signifiant. Exemples en Mathématique. *Disdaskalia*, n° 5, pp. 25-34.
- VIENNOT L. (1979). Spontaneous learning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, vol. 1, n° 2, pp. 205-221.
- VIENNOT L. (1996). *Raisonnement en physique : la part du sens commun*. Paris - Bruxelles, De Boeck.
- WEIL-BARAIS A. & LEMEIGNAN G. (1990). Apprentissage de concepts en mécanique et modélisation de situations expérimentales. *European Journal of Psychology of Education*, vol. 5, n° 4, pp. 391-415.
- WILSON J.-M. (1994). Network representations of knowledge about chemical equilibrium : variations with achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 31, n° 10, pp. 1133-1147.

# **Difficultés dans la conceptualisation du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même**

## **Analysis of the difficulties (experienced by primary school students) in the conceptual representation of the rotating motion of Earth on its own axis**

**Hélène MERLE**

Laboratoire ERES de l'Université Montpellier II  
Groupe IUFM  
2, place M. Godechot, BP 4152  
34092 Montpellier cedex, France.

### **Résumé**

*Lorsqu'ils font tourner la Terre sur elle-même pour rendre compte du mouvement apparent de la voûte céleste, la moitié des élèves de cours moyen se trompent dans le sens de rotation. Nous avons montré que cette difficulté n'est pas liée au contexte astronomique, mais à la nature du mouvement, à savoir une rotation. Il est nécessaire, pour en déterminer correctement le sens, d'analyser les positions successives de la Terre par rapport aux étoiles. Cela nécessite de concevoir le champ visuel d'un observateur terrestre. Nous montrons que les difficultés ne sont pas, là encore, spécifiques de la situation étudiée.*

**Mots clés :** astronomie, mouvement diurne de la Terre, sens de rotation, champ visuel.

### **Abstract**

*When they revolve a terrestrial globe around its own axis to account for the apparent motion of the cosmic system, one half of fourth graders misconceive its direction. In the present article, we show that this difficulty is not linked to the astronomic context, but to the nature of the motion, that is a rotating one. To determine the direction of this rotating motion, it is necessary to analyse the successive locations of Earth in relations to the stars. This necessitates a clear perception by the terrestrial observer of his own visual field. We show that, here again, the difficulties are not specific to the astronomic situation.*

**Key words :** astronomy, perception of rotating motion of Earth, visual field.

### **Resumen**

*Cuando se hace girar la tierra sobre sí misma, para referirse al movimiento aparente de la bóveda celeste, la mitad de los alumnos de los cursos medios se equivocan en el sentido de rotación. Nosotros mostramos que esta dificultad no está ligada al contexto astronómico, sino a la naturaleza del movimiento, es decir, una rotación. Es necesario, para determinar correctamente el sentido, analizar las posiciones sucesivas de la tierra en relación con las estrellas. Ello necesita concebir el campo visual de un observador terrestre. Nosotros mostramos que estas dificultades van mas allá de la situación específica estudiada.*

**Palabras claves :** astronomía, movimiento diurno de la tierra, sentido de rotación, campo visual.

## **1. INTRODUCTION**

Lors d'un travail antérieur (Merle & Dusseau, 1996) nous avons analysé des comportements d'élèves de cours moyen 1<sup>ère</sup> année, âgés de 9 à 10 ans, lors de l'apprentissage du mouvement diurne de la Terre. Ce travail a permis de montrer qu'il est nécessaire de confronter les enfants au mouvement d'ensemble de la voûte céleste pour qu'ils puissent construire réellement le modèle d'une Terre en rotation autour de son axe en 24 heures.

Cette modélisation suppose, en particulier, **un changement de repère**, puisqu'il faut passer du repère terrestre à un repère lié aux étoiles fixes.

L'analyse des mouvements (mouvement des étoiles observé depuis la Terre ou mouvement de la Terre dans le système solaire) suppose pour

un physicien de préciser les repères choisis. Avec les enfants on est conduit à viser une acquisition moins rigoureuse qui comporte trois points essentiels :

– 1) on voit tourner les étoiles depuis la Terre (ce qui est observé lors d'une séance de planétarium), mais en fait les étoiles sont fixes et ce mouvement n'est qu'apparent, il est dû à la rotation de la Terre sur elle-même ;

– 2) le mouvement de la Terre s'effectue en sens inverse du mouvement des étoiles observé depuis la Terre ;

– 3) l'étoile polaire paraît immobile car elle est sur l'axe de rotation de la Terre, en prolongement de l'axe des pôles.

Pour analyser les difficultés rencontrées par les élèves lors de la phase de modélisation nous avons conduit des entretiens individuels dont certains ont été filmés. Pendant cette activité les élèves disposent d'un mini-globe terrestre monté sur un axe et d'une demi-sphère transparente représentant la voûte céleste observée depuis la France ; sur cette voûte apparaissent l'étoile polaire et quelques gommettes représentant d'autres étoiles supposées immobiles.

Nous n'analyserons pas ici les difficultés rencontrées par les élèves concernant les points 1 et 2 : les entretiens montrent que beaucoup d'élèves inclinent intuitivement la Terre en direction de la polaire ; reprenant l'idée émise par quelques-uns, ils la font ensuite tourner sur elle-même pour tenter d'expliquer le mouvement des étoiles observé depuis la Terre. Par contre il s'avère, lors de ce travail de modélisation, que **les élèves sont très nombreux à faire tourner la Terre d'est en ouest, c'est-à-dire dans le sens du mouvement apparent des étoiles et non en sens inverse**. Cette constatation est le point de départ de la recherche développée dans cet article : nous analyserons dans le paragraphe 2 l'origine de cette difficulté. Nous montrerons que cela conduit à analyser également les difficultés des élèves dans la conception de l'espace accessible à un observateur terrestre, ce que nous ferons dans le paragraphe 3.

## 2. PROBLÈMES LIÉS AU CHANGEMENT DE RÉFÉRENTIEL DANS LA DÉTERMINATION DU SENS DE ROTATION DE LA TERRE SUR ELLE-MÊME

### 2.1. Problématique

La non-inversion du sens de rotation lors du changement de repère

nous a tout d'abord beaucoup étonnés car de nombreuses situations dans la vie courante nous confrontent à ce type de phénomène. Des enfants dans un véhicule ont tous constaté en effet que le déplacement de ce véhicule (voiture, bus ou train) semble faire défiler le paysage dans l'autre sens. De même le démarrage d'une voiture dans une file voisine de la nôtre nous donne l'impression de reculer alors que nous sommes immobiles. L'inversion des vitesses nous semblait donc relever d'une intuition élémentaire, étant donné le vécu des enfants dans ce domaine.

Un travail antérieur (Maury et al., 1981) montre que les élèves de 10 ans résolvent correctement des problèmes de changement de référentiel proches de ceux qui nous préoccupent. Toutefois, dans l'article cité, les situations proposées diffèrent de la nôtre par deux points : l'espace concerné n'y est pas l'espace astronomique mais celui d'une salle, et les mouvements étudiés sont des mouvements de translation. Ces deux différences sont susceptibles d'expliquer l'écart entre nos premières constatations et les résultats de cette recherche.

La première partie du livre de Piaget (1972) intitulé « *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant* » peut nous aider à construire une analyse *a priori*. Piaget étudie le passage graduel de la pensée intuitive, encore attachée aux données de la perception, à la pensée opératoire dans l'analyse des mouvements. Mais nous nous intéresserons tout d'abord aux deux premiers chapitres, consacrés à l'étude de l'ordre de succession linéaire puis cyclique. Pour Piaget cette étude est une introduction indispensable à l'analyse des déplacements eux-mêmes car « *l'idée de mouvement suppose en effet, au préalable la notion d'ordre : un « déplacement » est nécessairement relatif à un système de « placements », c'est-à-dire précisément de positions selon un certain ordre.* » (Piaget, 1972, p. 1) Cette analyse s'appuie sur des situations de succession dans un contexte cinématique : les enfants sont invités à imaginer les successions d'objets entraînés par un même mouvement de translation (billes de couleur enfilées sur un fil de fer que l'on translate), ou de rotation (faces colorées d'un prisme en rotation autour de son axe). Piaget montre qu'il est possible de définir, dans les deux cas, trois stades correspondant à une progression chronologique ; de plus les stades concernant l'ordre dans les mouvements cycliques convergent avec ceux obtenus dans l'étude de la construction de l'ordre linéaire :

– au stade 1, les enfants ont l'intuition d'un ordre direct et de sa conservation au cours d'un mouvement de translation ; mais l'ordre linéaire inverse est manqué et les enfants ne parviennent pas à prévoir l'ordre de succession des éléments d'un cycle : la relation « entre » est absente et seules les situations relevant d'une « intuition perceptive simple » sont résolues ;



– au stade 2, les problèmes d'ordre linéaire inverse sont résolus (le déplacement des billes étant alors effectué dans le sens opposé), alors que seuls les problèmes d'ordre cyclique direct le sont ; pour Piaget les difficultés pour atteindre ce stade sont de même type puisqu'il faut se représenter l'ordre obtenu en faisant demi-tour ou en décrivant un cercle, soit en revenant au point de départ : ce stade est caractérisé par une « intuition articulée mais rigide » ;

– enfin toutes les réponses correctes sont obtenues au stade 3, soit à 6-7 ans dans le cas de translations et 7-8 ans dans celui des rotations, qu'elles soient directes ou inverses : ces prévisions correctes sont la preuve de l'élaboration de « systèmes opératoires ».

Cela fait donc apparaître pour chaque stade un décalage dans l'analyse des « placements » selon que l'objet support est en translation ou en rotation : les placements en rotation sont toujours plus difficiles pour les élèves.

À l'âge qui nous préoccupe (9-11 ans), les problèmes de placements sont résolus dans les deux cas, mais nous avons pensé qu'un décalage du même type entre translation et rotation pouvait se retrouver dans l'analyse des mouvements avec changement de référentiel.

Nous avons déjà constaté, en effet, que la nature même du mouvement de la Terre (mouvement de rotation) constituait une difficulté essentielle pour les élèves car ils avaient des difficultés à justifier l'immobilité apparente de la polaire par sa position sur l'axe de rotation de la Terre (Merle & Dusseau, 1996). Nous avons donc émis l'hypothèse que la difficulté à déterminer le sens de rotation correct de la Terre était lié non pas à l'espace en cause, c'est-à-dire l'espace astronomique, mais à la nature du mouvement, la rotation.

Pour tester cette hypothèse, nous avons soumis successivement les élèves de cinq classes de cours moyen, n'ayant pas au préalable abordé ces questions, à des entretiens individuels. Nous leur avons proposé d'analyser diverses situations avec changement de référentiel, mais dans un espace beaucoup moins étendu que l'espace astronomique, de manière à éliminer cette variable. Les situations s'appuient sur l'analyse de mouvements soit de translation, soit de rotation afin de comparer les résultats.

La procédure a été affinée d'une classe à l'autre pour tenter de s'assurer au mieux de la validité des résultats, qui sont présentés dans le paragraphe suivant.

## 2.2. Méthodologie et résultats

Nous reportons ci-après notre approche expérimentale et les résultats obtenus, concernant cinq classes de cours moyen repérées chronologiquement par A, B, C, D et E. L'âge des enfants est compris entre 9 et 11 ans.

### CLASSE A

#### Technique expérimentale

Le chercheur pose aux enfants trois questions. Pour chacune d'elles, la situation est « mise en scène ». Ainsi, les enfants ont devant eux des modèles réduits d'une voiture, d'une route bordée d'arbres, d'un manège ainsi que des petits personnages.

##### **1ère question**

*« Une voiture est sur une route bordée d'arbres. Déplace la voiture pour que le conducteur ait l'impression que les arbres reculent. »*

##### **2ème question**

*« Un enfant fait un tour de manège. Le manège peut tourner dans les deux sens. Sa maman est assise sur un banc et le regarde. L'enfant a l'impression que sa maman se déplace dans ce sens (matérialisé par une flèche). Fais tourner le manège pour qu'il ait bien cette impression. »*

##### **3ème question**

*« Sur le bord de la route il y a une statue. Déplace la voiture pour que le conducteur ait l'impression que la statue avance. »*

#### Résultats

##### **1ère question :**

- 26 réponses correctes sur 27,
- 1 réponse fausse.

**2ème question :**

- 14 bonnes réponses sur 27,
- 11 élèves font tourner le manège dans le même sens que la maman,
- 2 élèves font de même mais rectifient leur réponse après avoir répondu à la troisième question, et avec une sollicitation (« *la voiture se déplace en sens inverse et le manège dans le même sens ?* »).

**3ème question :**

- 21 bonnes réponses sur 27,
- 3 réponses fausses,
- 3 réponses fausses, puis corrigées.

Dans le cas des **translations** (questions 1 et 3), on constate un très fort pourcentage de bonnes réponses même si les réponses correctes sont un peu moins nombreuses pour la dernière question (marche arrière).

Dans le cas d'une **rotation** (question 2), le taux de réponses correctes dépasse à peine 50 %. Les enfants n'ayant le choix qu'entre deux réponses, on peut même se demander s'ils ne répondent pas au hasard et on pourrait conclure à leur incapacité à résoudre correctement ce problème.

## Analyse

À ce stade de la recherche, il nous a semblé prématuré de conclure, les différences constatées pouvant s'expliquer par un aspect qui n'a pas été pris en compte : dans le premier cas en effet, les arbres constituent une rangée importante et ils défilent les uns à la suite des autres. Leur mouvement, observé depuis la voiture, apparaît comme continu, l'observateur restant toujours à proximité de l'un d'entre eux. Au contraire, la statue et la maman sont seules, elles passent devant l'enfant de manière fugitive, il s'agit pratiquement d'une vision instantanée, quasi ponctuelle.

S'ajoute à ce problème, dans le cas de la statue, l'ambiguïté du vocabulaire : lorsque la voiture recule, la statue semble passer devant la voiture. Ceci explique la formulation de la consigne : « *Déplace la voiture pour que le conducteur ait l'impression que la statue avance.* » Mais il est évident que la statue va ensuite « s'éloigner » de la voiture lorsqu'elle l'aura dépassée, ce qui peut se traduire pour les enfants par le fait qu'elle « recule » (dans le sens accroissement de la distance statue-voiture). La question n'est donc peut-être pas claire pour eux.

Pour une interprétation plus nette des résultats, il a été nécessaire d'organiser une seconde série d'entretiens.

## CLASSE B

### Technique expérimentale

La situation est toujours matérialisée, mais les situations proposées sont plus proches les unes des autres : dans tous les cas les objets ou les personnages dont on décrit le mouvement relativement à l'observateur sont rangés en file à côté de la voiture ou autour du manège, d'où une continuité dans l'observation (rangée d'arbres, file de personnages autour du manège, rangée de poteaux téléphoniques en bordure de route). Parallèlement, les deux dernières questions ont été reformulées et nous avons supprimé l'ambiguïté de la troisième question.

#### *1ère question inchangée*

#### *2ème question*

*« Un enfant fait un tour de manège. Le manège peut tourner dans les deux sens. Toutes les personnes de sa famille sont autour du manège et le regardent. L'enfant a l'impression que les membres de sa famille se déplacent dans ce sens (matérialisé par une flèche), comme s'ils faisaient une ronde autour du manège. Fais tourner le manège pour que l'enfant ait bien cette impression. »*

#### *3ème question*

*« Sur le bord de la route il y a des poteaux téléphoniques. Déplace la voiture pour que le conducteur ait l'impression que les poteaux avancent, de l'arrière vers l'avant de la voiture. »*

### Résultats

**Pour les translations**, on retrouve une réussite totale dans le cas des arbres. Tous les élèves affirment avoir remarqué le phénomène, font avancer la voiture sans hésiter et expliquent correctement ce qui se passe.

Pour les poteaux téléphoniques « qui semblent avancer de l'arrière vers l'avant de la voiture », le temps de réflexion est toujours un peu plus

long. Sur 21 élèves interrogés 18 répondent d'emblée correctement. Les trois autres sont beaucoup plus hésitants, commencent par se tromper, mais rectifient leur réponse. Ainsi on ne rencontre pas, comme dans l'autre classe, d'élèves qui confirment une réponse erronée donnée au départ. La continuité introduite par rapport au premier questionnement (cas d'une statue en bord de route) rend peut-être l'analyse de la situation plus facile pour les enfants. On peut penser également que les élèves réussissent mieux du fait de la formulation plus claire de la question.

Quoi qu'il en soit, pour les deux classes, la troisième question reste un peu plus difficile à résoudre que la première, mais le taux de réussite reste très élevé dans les deux cas lorsqu'il s'agit de translations.

Pour la deuxième question, **lors d'un mouvement de rotation**, 10 élèves sur les 21 interrogés font tourner le manège dans le sens du mouvement apparent des personnes de la famille ; 10 affirment le contraire et sont sûrs d'eux, 1 doute beaucoup et finit par choisir la bonne réponse. Globalement, on peut donc dire que, là encore, le taux de réussite est de l'ordre de 50 %. Le fait de remplacer « la maman » par une rangée de personnages qui entourent le manège ne fait pas varier le taux de réussite.

## Analyse

Ces deux séries de tests montrent que l'analyse de mouvements avec changement de référentiel est difficile pour des enfants lorsque les mouvements mis en cause sont des mouvements de rotation.

Dans ce cas, les enfants choisissent souvent, pour expliquer le mouvement apparent visible par l'observateur lié au repère mobile, de faire tourner ce repère dans le sens du mouvement apparent. Il semblerait qu'ils mettent en cause un effet « d'entraînement ». Cela avait été noté lors de l'interprétation du mouvement apparent des étoiles, mais reste vrai dans un espace plus réduit. Il s'agit donc d'un problème général qui n'est pas spécifique de l'astronomie mais qui est bien lié à la nature du mouvement en cause. Pour déterminer le sens de rotation, le recours à des « raisonnements physiques intuitifs » corrects (Maury et al, 1981) n'est donc pas possible, du moins pour la moitié des enfants.

### CLASSE C

Les résultats obtenus précédemment montrent que les enfants réussissent plus facilement les tests lorsqu'il s'agit de translations. Nous avons souhaité analyser directement leurs difficultés face à des mouvements de rotation, sans risquer de les influencer par les situations de translation.

Après la deuxième série d'entretiens, il est apparu que le fait d'indiquer par une flèche le sens du mouvement apparent avait peut-être un effet inducteur. Une élève avait en effet expliqué qu'elle avait choisi le sens (mouvement réel de même sens que le mouvement apparent) « *à cause de la flèche* ». Même s'il s'agissait d'un cas isolé, l'hypothèse devait être vérifiée.

Enfin, l'expression utilisée jusqu'alors « *fais tourner le manège pour que l'enfant ait l'impression que les personnages tournent dans ce sens* » pouvait être ambiguë et donc mal comprise.

Pour ces trois raisons, nous avons réalisé une troisième série d'entretiens uniquement sur le thème du manège, en supprimant la flèche et en utilisant la même procédure et les mêmes termes que ceux employés par Maury et al. (1981).

## Technique expérimentale

L'enfant est placé face à la personne qui l'interroge, derrière le manège dans lequel nous avons placé un petit personnage. Nous lui expliquons qu'il est dans le manège, à la place de ce petit personnage et que le manège peut tourner dans les deux sens, ce que nous illustrons par une démonstration. Puis nous lui posons la question suivante :

*« Tu es dans le manège, pour t'aider imagine que tu es à la place du petit bonhomme. Le manège est d'abord immobile, et un enfant s'amuse à tourner autour (on montre à l'enfant ce mouvement en faisant tourner une figurine dans un sens donné, mais sans visualiser ce sens de rotation par une flèche). Si tu le suis des yeux, tu le vois tourner autour de toi. Est-ce que tu peux voir la même chose si l'enfant s'arrête de tourner autour du manège ? »*

Si l'enfant répond « *oui, lorsque le manège tourne* », nous lui demandons dans quel sens le manège doit tourner.

Si l'enfant répond que c'est impossible, nous lui suggérons que le manège peut tourner et poursuivons le questionnaire de la même façon.

Quelle que soit la réponse de l'élève, nous lui demandons s'il est sûr de sa réponse, et nous l'invitons à justifier son choix. Dans certains cas, lorsque les élèves donnent une réponse erronée, la situation d'une voiture qui se déplace à côté d'une rangée d'arbres est évoquée, mais dans un deuxième temps.

## Résultats

Sur les 13 premiers élèves interrogés, un ne perçoit absolument pas le phénomène de mouvement relatif, les douze autres se répartissent à nouveau à égalité (6 font tourner le manège dans un sens et 6 le font tourner dans l'autre sens).

Une élève ayant évoqué le problème du décor, nous avons répété le test en plaçant derrière le manège un papier blanc et en précisant que le manège se trouvait dans une salle toute blanche : les résultats sont demeurés inchangés (4 ont fait tourner le manège dans un sens et 4 dans l'autre sens).

## Analyse

Il est à noter que certaines bonnes réponses ne sont formulées qu'après que l'on ait évoqué avec les enfants le cas des arbres. Pour certains élèves au contraire, même s'ils sont convaincus que les arbres se déplacent en apparence en sens inverse de la voiture, cela ne les fait pas changer d'avis pour le manège : « *Ici, je n'ai pas la même impression* », dit l'un d'eux.

Ces résultats diffèrent beaucoup de ceux obtenus dans l'expérience A 1 de l'article précité (Maury et al, 1981). Dans cette expérience, on demande à l'enfant d'imaginer comment se déplacer sur un fauteuil à roulettes pour voir un objet, fixe dans un repère terrestre, se déplacer par rapport à lui dans un sens donné. Les auteurs montrent que les enfants répondent très facilement à cette question, en trouvant le sens correct de déplacement du fauteuil. Malgré une similitude certaine entre les deux expériences, la nôtre se différencie notamment de celle-ci par deux points :

- nos élèves n'avaient pas la possibilité d'expérimenter (ils devaient imaginer le phénomène),
- le mouvement en cause est un mouvement de rotation autour d'un axe et non un mouvement de translation rectiligne.

Nous pensons que c'est la nature du mouvement en jeu qui explique la différence entre les résultats constatés. En effet, même avant expérimentation, les auteurs indiquent un taux de réussite de 87 %, très voisin de celui que nous obtenons dans des situations de translation. Or ce n'est plus du tout le cas lorsqu'on évoque un mouvement de rotation avec les élèves, puisque le taux de réussite ne dépasse guère 50 % avant expérimentation.

Par souci de vérification, nous avons soumis le test de la classe C à une quatrième classe (classe D), et nous avons filmé les entretiens en vidéo pour analyser avec précision les types de raisonnements mis en jeu par les élèves. Nous chercherons à voir dans une cinquième classe (classe E) si, lorsqu'on donne aux élèves la possibilité d'expérimenter, on obtient un taux de bonnes réponses plus important.

## CLASSE D

### Technique expérimentale

L'entretien mis en oeuvre est le même qu'avec la classe précédente (classe C). Toutefois nous avons insisté particulièrement sur la tentative d'explicitation demandée aux enfants. De plus nous avons pris en compte (tableau 1) :

- leur réponse spontanée (1),
- celle fournie après une mise en doute de la première réponse, quelle qu'elle soit (2),
- enfin, de façon systématique, lorsque la réponse fournie est erronée, la réaction des élèves lorsqu'on évoque la situation des arbres en bordure de route (3).

Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

### Résultats

	Réponse spontanée (1)	Après demande de confirmation (2)	Après évocation des arbres (3)
pas de réponse	1	1	1
réponse correcte (sens inverse)	8	10 + 1 (pas très sûr de lui)	15
réponse erronée (même sens)	14	11	7

Tableau 1 : Répartition des résultats obtenus pour la classe D

L'évolution des réponses au cours du questionnaire permet de bien évaluer le niveau de conviction des élèves : on remarque en effet que, parmi les élèves qui répondent correctement, aucun ne remet en doute sa réponse lorsqu'on lui demande s'il est sûr de lui. Cette simple question



permet d'obtenir le taux de 50 % de bonnes réponses que nous avons obtenu dans les autres classes. Ceci confirme donc, **sur le plan quantitatif**, ce qui est dit plus haut.

On remarque que l'évocation systématique de la situation des arbres en bordure de route permet d'augmenter nettement le taux de bonnes réponses puisque 4 élèves modifient leur réponse dans le bon sens. Nous verrons toutefois plus loin, dans l'analyse détaillée des réponses que, parmi eux, certains restent sceptiques et ces bonnes réponses obtenues après l'évocation des arbres doivent être analysées avec prudence. Entre le sujet et l'interviewer s'installe forcément un « contrat expérimental » ressemblant fort à un contrat didactique : il est possible que, lorsqu'on présente la situation des arbres aux enfants n'ayant pas répondu correctement dans le cas du manège, ils infèrent que leur réponse n'est pas bonne puisqu'on leur présente une autre situation. Le fait qu'ils corrigent cette réponse n'est pas pour autant le signe d'une réelle compréhension du phénomène.

Il est intéressant de noter combien les enfants, même lorsqu'ils sont absolument sûrs d'eux, éprouvent des difficultés à justifier leur choix, quel qu'il soit.

Lorsqu'on leur demande de se justifier, **les élèves qui choisissent spontanément la réponse correcte, en faisant tourner le manège en sens inverse du mouvement apparent**, disent souvent : « *je me suis imaginé* ». Parfois, ils esquissent un mouvement de la tête. Parfois, c'est ce mouvement de tête qui déclenche la bonne réponse.

Souvent, ils imaginent ce qui se passe **au moment du démarrage**. C'est par exemple le cas de Phil :

H.M. : « *Comment as-tu fait pour trouver cette réponse ?* »

Phil : « *Quand il part comme ça (fait tourner le manège), qu'on tourne comme ça, on voit la fille partir dans ce sens (indique le sens inverse d'un geste).* »

On remarque que l'enfant se ramène à une situation proche de la translation en imaginant ce qui se passe sur un laps de temps assez bref (passage à la limite en quelque sorte), et il s'appuie sur la phase transitoire de mise en mouvement.

On retrouve le même raisonnement pour Mar.

Mar : « *Si je suis sur le manège, on a l'impression que c'est lui (elle désigne le personnage proche du manège) qui tourne autour ; quand je vais sur un siège qui tourne et quand je tourne, j'ai l'impression que c'est la salle qui bouge et pas moi.* »

Mar choisit de faire tourner le manège en sens inverse du mouvement apparent.

H.M. : « *Pourquoi dans ce sens ?* »

Mar : « *Si je pars par là, j'ai l'impression qu'il part de ce côté-là (sens inverse).* »

Un autre cas est particulièrement intéressant, celui de Clai par exemple, qui semble avoir très bien compris le phénomène, est très sûre d'elle, et donne pourtant de mauvais arguments.

H.M. : « *Quand le petit garçon est immobile et que le manège tourne, qu'est-ce que tu vois ?* »

Clai : « *C'est comme si il courrait, à part que le paysage change* (indique le sens correct). »

H.M. : « *Pourquoi as-tu choisi ce sens ?* »

Clai : « *Si il courrait dans ce sens* (indique le même sens que celui du manège), *il serait toujours face à moi.* »

**Clai combine deux mouvements de même sens et même vitesse.** Spontanément, elle n'essaie pas d'envisager ce qui se passerait si le personnage restait immobile. Par contre elle se réfère à la situation citée (deux mouvements de même sens et même vitesse) qu'elle sait résoudre avec facilité (« *je le verrais pas bouger* »). Par opposition, elle en déduit que le mouvement du personnage doit être en sens inverse de celui du manège. En fait, cette élève procède à une combinaison de mouvements et non à un changement de référentiel : elle raisonne en termes de mouvements relatifs et non pas en analysant le même mouvement dans deux référentiels différents.

Dans cette classe ce comportement a pu être observé à plusieurs reprises. Dans les autres classes également, nombreux sont les élèves qui faisaient cette manipulation : ils tenaient sans doute le même raisonnement sans aller jusqu'à sa verbalisation.

**Pour les élèves qui choisissent de faire tourner le manège dans le sens du mouvement apparent,** les arguments sont les suivants :

H.M. : « *Comment as-tu trouvé le sens ?* »

Mag : « *Si je dois le regarder je suis obligée de me tourner comme ça, je suis obligée de suivre son sens, je dois regarder son sens...* »

On évoque alors la situation des arbres en bordure de route.

H.M. : « *Ils se déplacent dans quel sens ?* »

Mag : « *Dans l'autre sens.* »

H.M. : « *Et pour le manège ?* »

Mag : « *C'est dans le même sens.* »

H.M. : « *C'est normal ça ?* »

Mag : « *Non...* »

H.M. : « *Comment ça se fait ?* »

Mag : « *Je sais pas..; je comprends pas ... ; pourquoi faudrait-il tourner dans l'autre sens ?* »

H.M. : « *Pourquoi tu voudrais le faire tourner dans l'autre sens ?* »

Mag : « *Je compare avec les arbres...* »

L'enfant manifeste une grande perplexité et n'est manifestement pas convaincue par l'analogie entre les deux situations proposée par le chercheur.

Jon, lui aussi, fait tourner le manège dans le même sens que le mouvement apparent. Lorsqu'on lui demande s'il est sûr de lui, il confirme, puis il fait tourner le personnage devant lui à hauteur des yeux en l'observant et confirme à nouveau sa réponse. À l'évocation de la situation des arbres en bordure de route, il dit que les arbres « *vont vers l'arrière* ».

H.M. : « *Là, c'est en sens inverse ?* »

Jon : « *Oui.* »

H.M. : « *Et dans le cas du manège ?* »

Jon : « *Euh...* »

H.M. : « *Tu as choisi le même sens.* »

Jon : « *Ah, c'est de l'autre côté (geste à l'appui)...non, non, je dirais toujours de ce côté (confirme sa réponse erronée).* »

H.M. : « *Pourquoi tu choisis ce sens ?* »

Jon : « *Quand t'es là, la fille tu la vois là (place la petite fille face au bonhomme dans le manège) ; quand on tourne on la voit nous suivre.* »

Il semble que pour cet enfant la réponse est dictée par ses sens, et on peut s'interroger sur la raison d'une telle perception erronée.

Pour certains enfants, il est difficile de parler de raisonnement et la référence à une perception n'est pas évidente non plus lorsqu'ils n'évoquent aucune situation vécue et n'esquissent aucun geste. La réponse semble dictée par un caractère d'évidence difficile à interpréter. Citons les cas de Guil et de Yoh.

H.M. : « *Comment tu as fait pour trouver le sens ?* »

Guil : « *Je me suis dit que si elle tournait vers là (geste), le manège il tournait vers là, dans le même sens que la fille.* »

Yoh : « *Quand j'étais petit j'avais l'impression que c'était maman qui tournait autour du manège.* »

Il choisit le même sens que le mouvement apparent.

H.M. : « *Pourquoi ?* »

Yoh : « *Comme elle tourne dans ce sens je fais les mêmes gestes pour la regarder.* »

On repose le problème et la question relative au sens.

Yoh : « *Je tourne pareil qu'elle, pareil que quand je suis immobile et qu'elle tourne.* »

H.M. : « *Tu es sûr de ton raisonnement ?* »

Yoh : « *Oui.* »

Pour de rares élèves cette difficulté à imaginer un mouvement en sens inverse du mouvement apparent se retrouve même dans le cas de mouvements de translation. Ainsi, Stéph pense que l'on voit les arbres avancer à côté de la voiture.

Stéph : « *Ils peuvent pas... je peux pas penser qu'ils vont en arrière puisque je roule devant, dans ce sens* (elle déplace la voiture vers l'avant). »

Après une réflexion plus guidée, elle admet que les arbres semblent reculer par rapport à la voiture. Pour le manège, elle commence par corriger sa réponse initiale erronée :

H.M. : « *Pourquoi tu le fais tourner dans ce sens ?* »

Stéph : « *Comme la voiture tout à l'heure.* »

H.M. : « *Tu es sûre ?* »

Stéph : « *Non, c'est pas ça... si je tourne comme ça, je vais pas le voir tourner comme ça* (sens inverse). »

Elle montre alors le sens inverse et s'exclame :

Stéph : « *Ah oui, quand on tourne... il passe...* »

Mais malgré cette approche fugitive d'une perception correcte, elle revient à sa première réponse.

Plus étonnant encore est le cas de Jul. Après s'être trompé pour le manège, il résout sans difficulté le problème des arbres.

Jul : « *On dirait que c'est les arbres qui vont en arrière, ça fait comme le sens inverse.* »

H.M. : « *Et le manège, c'est le même sens ?* »

Jul : « *Oui...non, je sais pas trop.* »

On lui propose alors de raisonner de façon statique en positionnant le manège pour que le personnage soit successivement à droite, en face puis à gauche de l'observateur. L'enfant admet alors volontiers que les mouvements sont inversés et qu'il s'était trompé, mais il fait une moue dubitative en se grattant la tête, puis :

Jul : « *Y a pas un petit problème là ?* »

H.M. : « *Quel problème ?* »

Jul : « *C'est en sens inverse comme ça ? Tous les trucs sont en sens inverse ? ça tourne vers la droite et ça vers la gauche ? ... Ca m'étonne un peu que c'est en sens inverse...* »

## Analyse

Dans certains cas, on constate que les enfants refusent la possibilité de deux mouvements de sens opposé : le sens du mouvement apparent doit être le même que le sens du mouvement réel. **Le sens du mouvement est une propriété intrinsèque de ce mouvement et l'enfant ne reconnaît pas qu'il peut être différent selon le repère.**

Dans d'autres cas, les enfants se réfèrent à une situation où le personnage et le manège tournent dans le même sens et à la même vitesse :

– si le souci de ne pas perdre des yeux le personnage l'emporte (« *si je dois la regarder* », « *pour la regarder* » etc.), ils donnent une réponse erronée. Le fait de suivre du regard le personnage semble alors **l'entraîner dans le sens du manège** ;

– si les élèves considèrent, à juste titre, que cette situation ne leur permet pas de voir le personnage se déplacer, ils choisissent le bon sens de rotation par réaction, mais **l'argumentation n'est pas correcte**, car elle se base sur une combinaison de mouvements et non sur un changement de référentiel.

Enfin, les élèves qui répondent correctement sont ceux qui ont le plus de facilité à imaginer la situation. On constate qu'ils privilégient dans leur raisonnement les phases de démarrage (**régime transitoire**) et, par un passage à la limite, **se ramènent à une situation de translation.**

Il est intéressant de noter que tous les enfants s'appuient sur le moment où ils sont face au personnage car il leur apparaît comme le moment le plus fiable. Mais pour ceux qui se trompent, le souci essentiel est de suivre le personnage des yeux, ce qui les oblige à se tourner eux-mêmes dans le même sens que le personnage vu depuis le manège. Pour ces élèves, il n'y a aucune construction cognitive : ils ne peuvent pas raisonner si le personnage est hors de leur champ de vision, ils suivent donc son déplacement, d'où leur réponse erronée. Pour les élèves qui répondent correctement l'approche reste très empirique au départ, les enfants se ramenant à un problème proche, celui de la translation. Mais ils sont capables d'imaginer ensuite le déplacement apparent du personnage, même lorsqu'ils ne le voient plus, sans éprouver le besoin de tourner la tête : ceci semble indiquer chez eux un élément de modélisation.

## CLASSE E

Dans tous les cas évoqués précédemment, les élèves étaient nombreux à esquisser des mouvements de la tête avant de répondre. Toutefois, ils étaient assis sur une chaise et ne pouvaient pas expérimenter. Nous avons voulu leur donner cette possibilité de manière à voir si l'expérimentation permettait d'augmenter le taux de réussite.

### Technique expérimentale

Les élèves sont installés sur un fauteuil de bureau à roulettes, pouvant tourner sur lui-même. Dans un premier temps, le fauteuil est fixe et le chercheur tourne autour de l'enfant dans un certain sens, l'enfant étant invité à le suivre des yeux pour bien observer et mémoriser ce déplacement ; on lui demande de décrire ce qu'il voit (« *tu tournes autour de moi, tu changes de place, d'abord tu es devant, puis sur le côté, derrière et sur l'autre côté...* »).

Ensuite le chercheur s'immobilise face au fauteuil et demande à l'enfant ce qu'il doit faire pour voir la même chose. Si l'enfant propose de faire tourner le fauteuil, on lui demande dans quel sens (au départ il ne peut pas expérimenter), puis on lui propose d'essayer, et on lui demande s'il confirme ou non sa réponse quelle qu'elle soit. Si l'enfant ne répond pas, on lui suggère qu'il peut faire tourner le fauteuil et on continue l'entretien de la même façon.

### Résultats

Avant expérimentation, seuls 6 élèves dans cette classe font spontanément une prévision correcte, en inversant le sens de rotation du fauteuil par rapport au déplacement de l'expérimentateur ; 18 élèves, au contraire, se trompent.

Après expérimentation les élèves ayant fait de bonnes prévisions les confirment. Parmi ceux qui avaient fait une mauvaise prévision, 6 se corrigent, en manifestant toujours un certain étonnement. Au total on trouve donc 12 enfants qui déterminent un sens de rotation correct après essai. Lorsqu'ils explicitent leur raisonnement, ces enfants ne font pas référence à une impression générale, mais à un repère particulier qu'ils ont su choisir. Ainsi Lau dit « *il faut que je tourne par là* (indique le sens correct, soit vers sa gauche) *pour que tu disparaisses par là comme tout à l'heure* (montre son côté droit) ».

Par contre 10 élèves confirment leur prévision incorrecte après essai, même lorsque l'expérimentateur insiste pour qu'ils testent les deux sens de rotation avant de se prononcer. Les remarques montrent qu'ils sont incapables de prendre un point de repère qui leur permettrait d'analyser correctement la situation. Ainsi Mar dit : « *quand je tourne, toute la pièce tourne avec moi* », en accompagnant sa phrase d'un geste indiquant le même sens de rotation que celui du fauteuil. Ou Fan, à qui on demande dans quel sens elle voit tourner la pièce lorsqu'elle fait tourner son fauteuil et qui répond : « *dans le sens du fauteuil* ».

Enfin, 2 élèves ne peuvent se déterminer, ce qui porte à 12 le nombre d'élèves incapables de fournir la réponse correcte, soit un taux de réussite de 50 %, identique à celui obtenu sans expérimentation.

## Analyse

Dans la classe D, la mise en doute des réponses avait exigé des enfants une réflexion qui s'apparente à une expérience de pensée. Ceci avait permis d'obtenir un taux de réussite de 50 %.

On constate ici (classe E) que l'expérimentation n'apporte pas plus de progrès dans les résultats qu'une simple demande de confirmation. Un élève qui n'a pas construit les outils d'analyse de la situation au préalable ne parvient pas à le faire lors de la manipulation proposée.

## 2.3. Synthèse

Piaget a analysé des situations dans lesquelles les enfants doivent composer des mouvements successifs de directions opposées (mouvements d'aller-retour) ou des mouvements relatifs simultanés (exemple de l'escargot qui se déplace sur une planchette elle-même en translation). Il montre que la reconstruction formelle est effective à partir de 10-11 ans. Mais il faut préciser que ces mouvements, successifs ou relatifs, ont toujours été étudiés par Piaget dans le cas de translations.

Dans notre cas, il s'agit, non pas de composer des mouvements relatifs mais d'analyser un mouvement en changeant de référentiel. Quelle que soit la procédure expérimentale utilisée, seulement 50 % des élèves de cette classe d'âge répondent correctement **dans le cas d'un mouvement de rotation**. Nous avons montré qu'une analyse formelle, si elle est possible dès 9 ans pour certains élèves, reste inaccessible à la moitié d'entre eux, entre 9 et 11 ans : les structures opératoires nécessaires à l'analyse de la situation ne sont pas encore toujours élaborées, alors qu'un raisonnement intuitif correct est déjà en place **dans le cas des translations**.

C'est donc bien la nature du mouvement de la Terre (c'est-à-dire un mouvement de rotation autour de l'axe des pôles d'ouest en est) qui est responsable des difficultés rencontrées par les élèves pour déterminer le sens de sa rotation par un changement de référentiel. Notre hypothèse de départ semble donc validée.

Pour déterminer le sens de rotation de la Terre sur elle-même, l'élève qui réussit :

- procède par analogie avec des situations de translation ;
- ou s'appuie sur des régimes transitoires.

Ces modes de raisonnement pourraient constituer une aide pour les élèves chez lesquels l'analyse formelle des situations de rotation n'est pas encore en place. Toutefois nous avons montré que, pour certains élèves, l'analogie avec les situations de translation n'est pas convaincante et il est impossible de s'appuyer sur l'intuition des enfants puisqu'elle s'avère souvent trompeuse.

**Il est donc nécessaire de raisonner en analysant successivement les positions relatives instantanées de l'observateur et de l'objet observé** (ici un observateur situé en France et une étoile donnée). C'est après avoir déterminé la position de la Terre au lever, à la culmination puis au coucher de l'étoile pour l'observateur français, que l'élève trouvera le sens de rotation correct de la Terre. **Le mouvement est alors analysé en termes de dé-placement au sens de Piaget, c'est-à-dire en termes de changement de placement.** Seule cette analyse du phénomène, que nous appellerons « statique », est accessible au plus grand nombre d'enfants de cette classe d'âge.

Mais une telle analyse est loin d'être dénuée d'obstacles. Si cette analyse, que nous avons appelée « statique », résout en partie les problèmes de changement de référentiel, elle suppose toujours **un changement d'espace** : l'enfant doit passer de l'espace local dans lequel il vit, assimilable à une surface plane surmontée d'un ciel hémisphérique, à l'espace astronomique dans lequel la Terre est un astre sphérique flottant dans un espace infini (Nussbaum, 1986).

Nous analyserons dans le paragraphe suivant les difficultés liées au problème de « placement » de la Terre par rapport aux astres. Les « dé-placements » n'impliquent-ils pas en effet des « placements » ?



### 3. PROBLÈMES LIÉS AU CHANGEMENT D'ESPACE DANS LA DÉTERMINATION DES POSITIONS RELATIVES INSTANTANÉES DE LA TERRE ET DES ASTRES

#### 3.1. Problématique

Pour déterminer les positions relatives instantanées de la Terre et d'un astre, se posent des problèmes liés au changement d'espace. En effet, pour l'observateur terrestre, l'astre apparaît dans une certaine position par rapport à son horizon personnel ; cette position est définie essentiellement pour les élèves par la direction de l'astre (vers l'est au « lever », vers le sud lorsqu'il culmine, vers l'ouest au « coucher »). Pour placer correctement le globe terrestre par rapport à l'étoile, l'enfant doit donc :

- imaginer que l'espace visible par l'observateur terrestre situé en France est l'espace limité par le plan tangent à la sphère terrestre en France ;
- établir des relations entre les directions dans lesquelles les astres ont été repérés depuis la France et la position de ces astres par rapport au globe.

Ainsi par exemple, lorsque les élèves sont invités à placer la Terre pour reproduire un lever de Soleil ou d'étoile, ils doivent orienter le globe terrestre de manière à ce que cet astre soit pratiquement dans le plan tangent au globe passant par la France, vers l'est (l'astre se situant alors pratiquement à l'aplomb de la Chine).

Lors d'une série d'entretiens individuels (pré-test), nous avons constaté, malgré l'excellent niveau de la classe, la difficulté de certains enfants à se décentrer, et leur tendance à ne considérer comme accessible à l'observateur français que l'espace situé « en face » de la France, c'est-à-dire proche de la verticale de l'observateur. Ainsi le positionnement du globe lorsque l'étoile est nettement visible ou carrément invisible ne pose que peu de problèmes en général. Par contre beaucoup d'élèves rencontrent des difficultés lorsqu'il s'agit de reproduire un lever ou un coucher d'astre, c'est-à-dire pour les positions « limites ».

Nous nous sommes demandé si les difficultés rencontrées étaient inhérentes à la situation ou si elles existaient également lorsqu'il s'agit de concevoir un champ visuel dans une situation de la vie courante.

Ici, en effet, l'enfant doit raisonner sur un espace de dimension considérable ; de plus la forme sphérique de la Terre nécessite le recours à un outil géométrique spécifique, le plan tangent à la sphère terrestre. Or cet outil n'a pas encore été construit dans un contexte scolaire, la sphère elle-même étant à peine abordée en géométrie à l'école élémentaire.

Mais, dans les deux cas (contexte astronomique ou situation de la vie courante), pour concevoir l'espace accessible à un observateur, l'enfant doit utiliser la notion de droite de visée, qui s'appuie sur le concept de propagation rectiligne de la lumière. Il est bien connu que, pour l'enfant de cet âge, le modèle de référence est celui d'un rayon issu de l'oeil, mais le sens de la propagation n'intervenant pas dans le problème qui nous préoccupe, nous en ferons abstraction. Ainsi nous considérerons comme déterminante la seule capacité des élèves à utiliser, dans la résolution de la tâche, une droite reliant l'observateur à l'objet observé.

Ceci étant posé, il est intéressant de préciser la question qui nous préoccupe : est-ce la spécificité de la situation étudiée au départ (espace étendu, forme sphérique de la Terre) qui pose problème aux enfants ou la difficulté réside-t-elle essentiellement dans le recours à une droite de visée ?

Pour généraliser les résultats du pré-test et répondre à la question soulevée, nous avons élaboré des tests écrits en proposant aux élèves de déterminer des champs visuels dans un contexte usuel (observateur placé à proximité d'un écran opaque) et dans un espace astronomique (cas de l'observateur terrestre). Le premier test a été soumis à 6 classes de cycle 3, à raison de deux classes par niveau. Pour chaque niveau, une classe est située dans une école au recrutement varié, mais de bon niveau, l'autre est une classe de ZEP. Un deuxième test écrit a été proposé à trois autres classes de cycle 3, après une légère modification des schémas proposés. L'ensemble des résultats (pré-test et tests) est présenté dans le paragraphe suivant.

### 3.2. Méthodologie et résultats

#### Pré-test

#### Technique expérimentale

##### *1ère question*

Les élèves sont interrogés individuellement. Ils ont devant eux un mini-globe terrestre entouré de 8 gommettes fixées sur des petites tiges de bois. Les gommettes représentent des étoiles et sont toutes à égale distance du globe, réparties comme indiqué ci-dessous (schéma 1), les gommettes A et H étant placées sur le plan tangent à la sphère terrestre passant par la France.

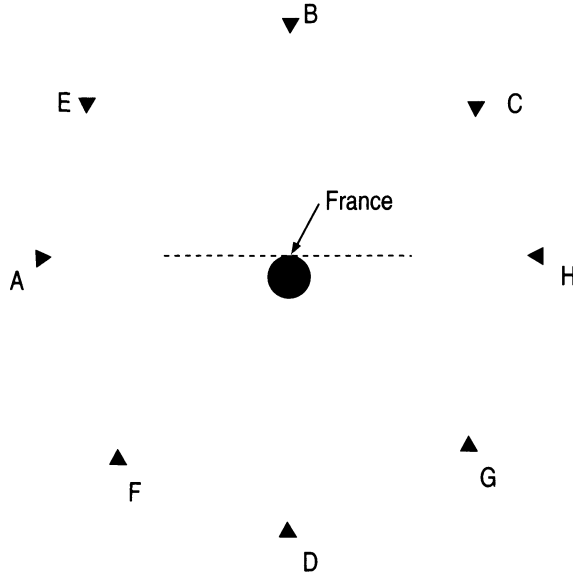


Schéma 1 : Étoiles visibles depuis la France (pré-test)

« Tu es en France (montrée sur le globe) et les gommettes représentent des étoiles. Pour chaque étoile dis-moi si tu peux la voir depuis la France. »

Les étoiles sont passées en revue l'une après l'autre en suivant l'ordre alphabétique.

### 2ème question

Les élèves disposent du mini-globe terrestre et d'une étoile toujours matérialisée par une gommette. L'étoile est placée assez loin du globe terrestre pour que la taille de la Terre apparaisse comme négligeable par rapport à cette distance.

« Place le globe pour que, depuis la France :

- on voit l'étoile vers l'est ;
- on voit l'étoile vers le sud ;
- on voit l'étoile vers l'ouest ;
- pour qu'on ne la voit pas. »

On propose à l'enfant de déplacer le globe en le faisant tourner sur lui-même si nécessaire.

## Résultats

### 1ère question

- 11 élèves sur 27 répondent correctement à toutes les questions ;
- 9 élèves ont des difficultés uniquement pour les étoiles A et H : 2 hésitent, 3 disent qu'elles ne sont pas visibles et 4 pensent qu'on les voit « *un peu, en diagonale, à la limite...* » ;
- 7 élèves affirment qu'on voit toutes les étoiles, mais 4 seulement confirment leur réponse erronée lorsqu'on la met en doute (les 3 autres corrigent très vite leur première affirmation pour répondre correctement).

### 2ème question

Parmi les quatre élèves qui sont convaincus que toutes les étoiles sont visibles depuis la France, trois ont beaucoup de difficulté pour répondre à la dernière question : « *Place le globe pour que, depuis la France, on ne la voit pas* ». Le quatrième élève corrige très facilement son erreur.

À part ces cas extrêmes, la plupart des élèves réussissent à peu près cet exercice, si on néglige le problème de l'inversion est-ouest. Mais le positionnement de la Terre pour les situations limites (étoile visible à l'est ou à l'ouest) manque parfois de précision :

- 19 élèves placent la Terre correctement (l'étoile étant dans le plan tangent à la Terre passant par la France, elle est bien visible sur l'horizon) ;
- 5 élèves, au contraire, orientent le globe de telle façon que l'étoile est largement au-dessus de l'horizon.

## Analyse

Il est étonnant de constater, à partir des résultats obtenus au premier exercice, qu'un quart des élèves (dans une classe d'excellent niveau) ne parvient pas spontanément à passer de l'espace local à l'espace-Terre. Pour eux, en effet, toutes les étoiles sont visibles « *puisque'elles sont en haut, il suffit de lever la tête, quand on lève la tête on voit toutes les étoiles...* » Parmi ces élèves, 3 rectifient facilement leur affirmation devant un doute exprimé (« *tu en es sûr ?* ») ; les 4 autres ne réagissent pas.

Les arguments avancés font essentiellement référence à une Terre plate surmontée du « ciel » où se situent bien sûr les étoiles. Le simple fait de lever la tête suffit donc à observer l'ensemble du ciel. Même après le second exercice un élève sur dix reste sur sa position.

Les propositions pour les étoiles A et H sont particulièrement intéressantes à analyser :

– lorsque les élèves répondent correctement ils esquissent presque tous un geste de visée, en plaçant un oeil sur l'étoile en question et en observant le globe. Lorsqu'on leur demande ce qu'ils font ils disent : « *je regarde si je vois la France* ». Cela suppose donc que pour eux, s'ils voient la France, l'espace où ils se trouvent sera visible depuis la France (notion de visée réciproque). De plus ils utilisent une technique de visée basée sur un apprentissage pragmatique, aucun travail n'ayant été réalisé en classe dans ce domaine ;

– quant aux autres élèves (ils sont 9 à hésiter), ils semblent n'avoir de certitude que pour un espace situé « face à la France ».

Ainsi, lorsqu'il s'agit, dans le deuxième exercice, de placer la Terre par rapport à une étoile qui doit être visible sur l'horizon, certains enfants limitent considérablement l'espace supposé accessible à l'observateur français : ils le réduisent en fait à un cône dont le sommet est sur l'observateur et l'angle au sommet de l'ordre de  $90^\circ$  en moyenne (schéma 2).

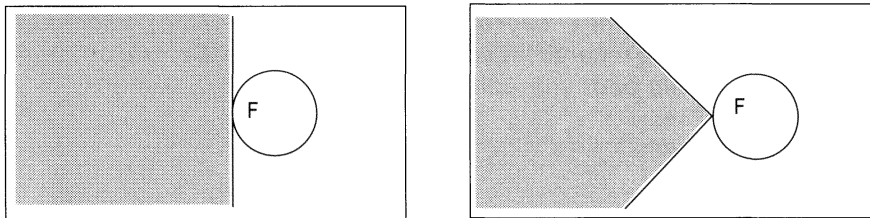
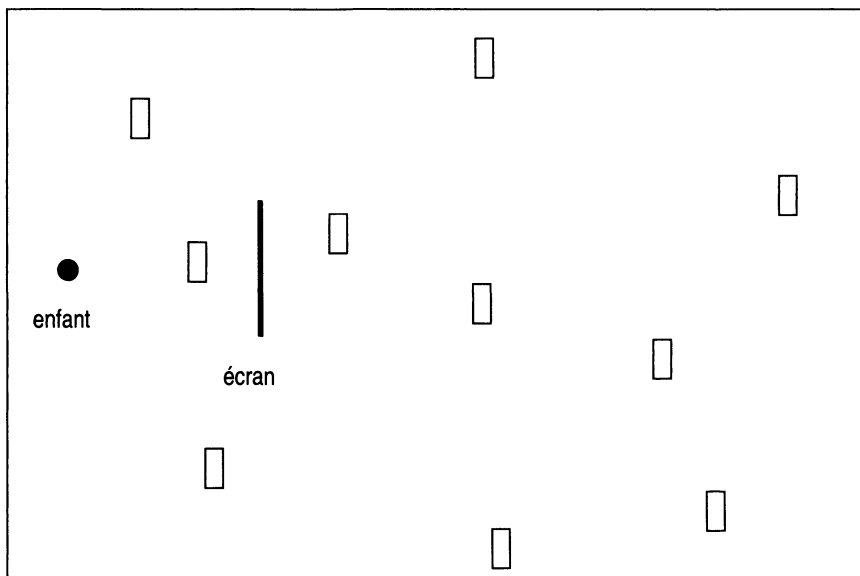


Schéma 2 : Espace accessible à l'observateur français (pré-test)

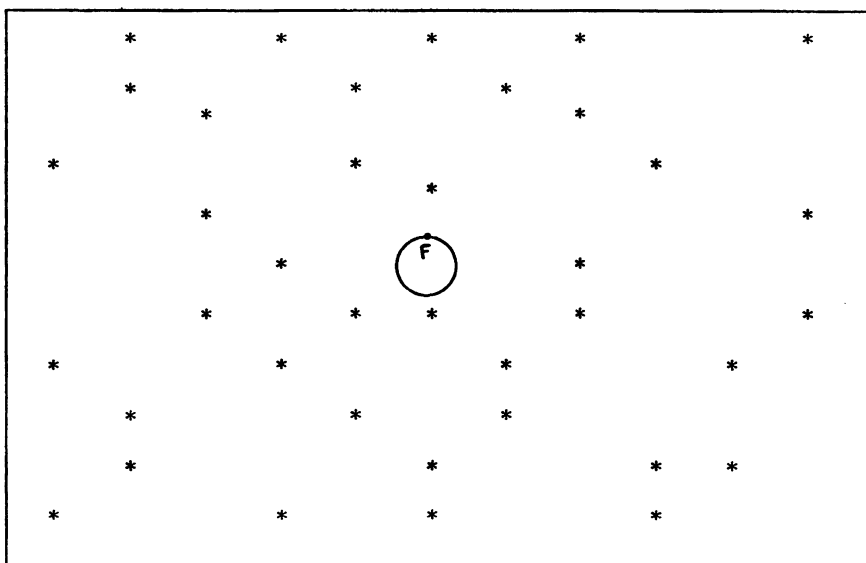
## Premier test écrit

### Questions

« Un enfant est dans une pièce éclairée dans laquelle on a placé un écran opaque ; on a éparpillé des quilles dans la pièce. **Colorie en rouge les quilles que l'enfant peut voir.** »



« Le cercle dessiné ci-dessous représente la Terre. Une personne est en France (F) et elle regarde le ciel une nuit sans nuage. **Colorie en rouge les étoiles qu'elle peut voir dans le ciel.** »



## Résultats

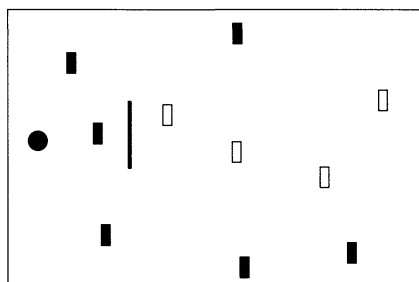
### 1) Quilles cachées par un écran opaque

Il n'apparaît pas de corrélation évidente entre l'âge des enfants et le niveau de réussite, ni entre l'école à laquelle ils appartiennent et la réussite à cet exercice. On obtient 49 % de bonnes réponses sur l'ensemble du cycle.

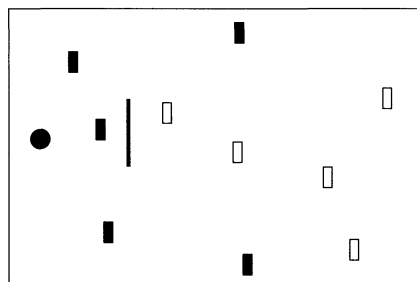
Certains élèves oublient seulement de colorier une ou deux des quilles visibles (ou inversement en colorient une ou deux alors qu'elles sont invisibles) : le pourcentage de réponses imprécises est de 27 et les erreurs sont toujours à la limite du champ visuel.

Pour les enfants qui ne répondent pas correctement, on note un pourcentage important d'élèves qui considèrent que les quilles sont visibles si elles sont « devant » l'écran, alors qu'elles sont invisibles si elles sont « derrière ». Ce type de réponse est particulièrement élevé en CE2, surtout en ZEP. Sur l'ensemble du cycle, ce type de réponse reste assez fréquent (16,5 %).

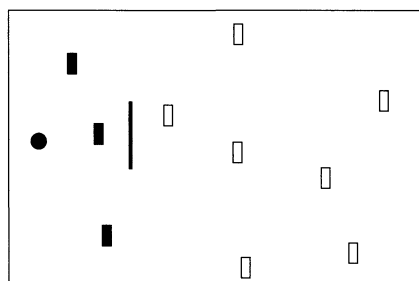
Enfin 7,5 % des réponses sont totalement incohérentes.



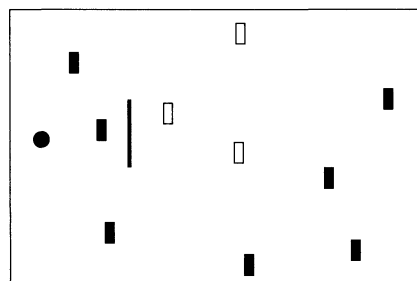
Réponses correctes : 49 %



Réponses approximatives : 27 %



Réponses « devant-derrrière » : 16,5 %



Réponses incohérentes : 7,5 %

Schéma 3 : Quilles derrière un écran (premier test)

On constate que, sur la population concernée, la moitié des élèves semblent maîtriser la technique de la visée et utiliser, pour résoudre la tâche proposée, le tracé d'une ligne droite reliant l'observateur à chaque quille.

## 2) Étoiles visibles depuis la Terre

Dans cet exercice, le nombre de bonnes réponses augmente régulièrement du CE2 au CM2, avec un taux de réussite moins important en ZEP, à niveau égal. On obtient 26 % de bonnes réponses sur l'ensemble du cycle.

Les réponses totalement incorrectes (sont considérées comme visibles les étoiles proches de la Terre) ou incohérentes sont relativement peu nombreuses (11 %).

Par contre, le nombre de réponses approximatives est élevé (62 %). Dans de nombreux cas, les enfants ne colorient que les étoiles situées dans un cône centré sur la France, parfois au contraire certaines étoiles situées juste au-dessous de l'horizon sont coloriées.

## Analyse comparative

Pour une présentation synthétique des résultats, on définira trois catégories d'élèves (tableau 2) :

– ceux qui fournissent une réponse rigoureusement exacte (a) ; ce sont des élèves qui semblent avoir construit l'outil géométrique correct permettant de résoudre le problème proposé (alignement, plan tangent) ; même si cet outil n'est pas toujours matérialisé dans leur réponse, celle-ci, par sa précision, permet de supposer l'utilisation de cet outil ;

– ceux qui ont l'intuition de la réponse (b), mais qui font des erreurs chaque fois que l'on se rapproche de la « zone sensible », c'est-à-dire de la limite entre espace visible et espace inaccessible ; pour eux l'acquisition s'appuie sur une approche d'ordre pragmatique, mais l'outil conceptuel n'est pas construit ;

– enfin, la dernière catégorie (c) comprend les enfants qui n'ont pas compris le phénomène.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>
<u>exercice 1</u> (écran opaque)	49 %	25 %	26 %
<u>exercice 2</u> (espace visible de la Terre)	26 %	62 %	11 %

Tableau 2 : **Premier test écrit**



On remarque que 49 % des élèves réalisent correctement le premier exercice, alors qu'ils ne sont que 26 % pour le deuxième exercice. Par contre les réponses incorrectes ou incohérentes sont plus nombreuses dans le cas des quilles que dans celui des étoiles. Enfin les réponses imprécises sont nettement plus nombreuses dans le cas des étoiles.

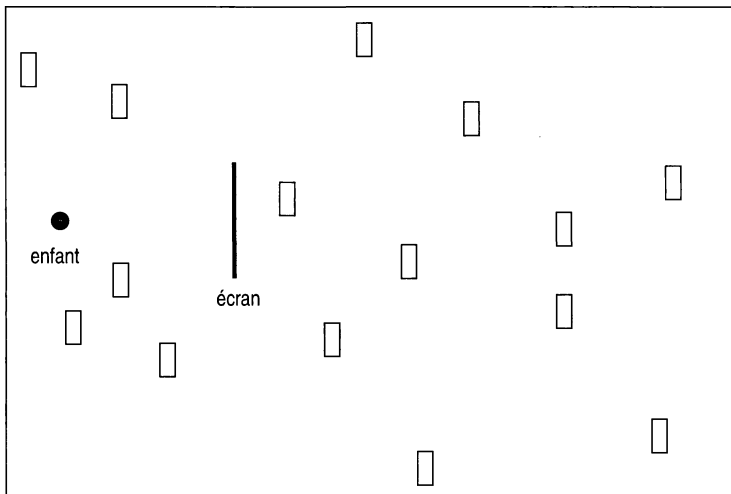
Il nous est apparu prématuré de comparer les résultats à ce stade de la recherche car les étoiles sont beaucoup plus nombreuses que les quilles, et nous avons craint que cela ait eu une influence sur les réponses des élèves. Le grand nombre d'étoiles proposé était destiné, au départ, à favoriser la vision d'un espace continu, puisque parsemé d'étoiles proches les unes des autres. Mais la lassitude due au nombre très élevé d'étoiles à colorier explique peut-être le grand nombre de réponses approximatives dans ce cas. De même le nombre trop faible de quilles ne permet pas d'affirmer avec certitude que les élèves qui ont réussi l'exercice ont eu recours à une droite de visée.

Il a donc été nécessaire, pour pouvoir conclure, de reprendre ce test en l'améliorant, c'est-à-dire en diminuant le nombre d'étoiles et en augmentant le nombre de quilles, de manière à permettre une comparaison valable des résultats.

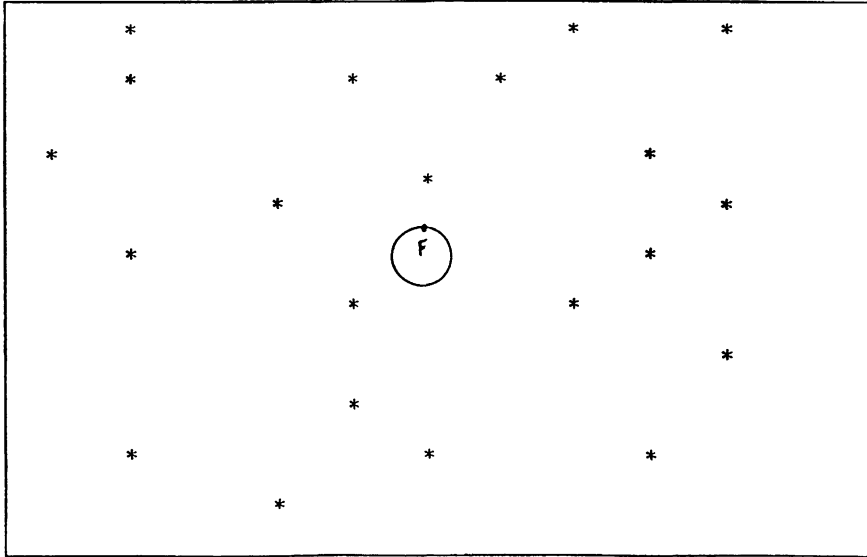
## Deuxième test écrit

### Questions

« Un enfant est dans une pièce éclairée dans laquelle on a placé un écran opaque ; on a éparpillé des quilles dans la pièce. **Colorie en rouge les quilles que l'enfant peut voir.** »



« Le cercle dessiné ci-dessous représente la Terre. Une personne est en France (F) et elle regarde le ciel une nuit sans nuage. On a dessiné des étoiles tout autour de la Terre. **Colorie en rouge celles que la personne peut voir dans le ciel.** »



## Résultats

### 1) Quilles cachées par un écran opaque

On obtient 32 % de réponses rigoureusement exactes. Ce résultat, nettement inférieur à celui obtenu lors du premier test (49 % de réussite), s'explique bien sûr par le plus grand nombre de quilles proposé. Les erreurs essentielles se produisant à la limite de la zone visible, nous avons, dans cette version du test, placé un nombre élevé de quilles dans cette zone pour voir si les élèves avaient vraiment recours à l'utilisation de la droite de visée pour résoudre l'exercice. Il s'avère donc que seulement un tiers environ des élèves a réellement construit cet outil conceptuel. On ne note pas de corrélation évidente entre l'âge des enfants et le niveau de réussite.

Le nombre de réponses approximatives (une ou deux quilles au maximum ayant été oubliées ou coloriées à tort) représente 29 %.

Contrairement aux résultats obtenus avec le premier test (schéma 4), les réponses de type « devant-derrrière » sont ici très rares (4 % en moyenne). Le fait de n'avoir pas réalisé ce test en ZEP explique ce résultat : c'est dans ces classes que ce type de réponse était très fréquent, en particulier au CE2 (45 %).

Par contre, un type de réponses extrêmement rare lors du premier test apparaît ici : 29 % des élèves colorient toutes les quilles sauf celles situées dans une bande horizontale limitée par les bords de l'écran. On peut expliquer le nombre important de ces réponses. Dans le premier test en effet, une quille était située sur la ligne horizontale passant par le bord de l'écran. Les enfants relevant de cette conception devaient donc partager cette quille en deux parties, l'une visible et l'autre non. Or la formulation de la question laissait penser que les quilles étaient visibles ou non, sans cas litigieux. Dans le doute, il semble que les enfants ont choisi, au hasard, de colorier la quille ou de la laisser telle quelle. Seuls les élèves les plus « convaincus » ont pris le risque d'affirmer leur façon de penser en coloriant la moitié de la quille ; ils étaient très peu nombreux. Dans la deuxième version du test, nous avons choisi de ne placer aucune quille sur cette ligne, cette conception a donc pu s'exprimer librement. Il est étonnant de constater que les élèves utilisent spontanément l'outil géométrique adapté (la ligne droite) sans relation avec le concept physique correspondant (la propagation rectiligne de la lumière).

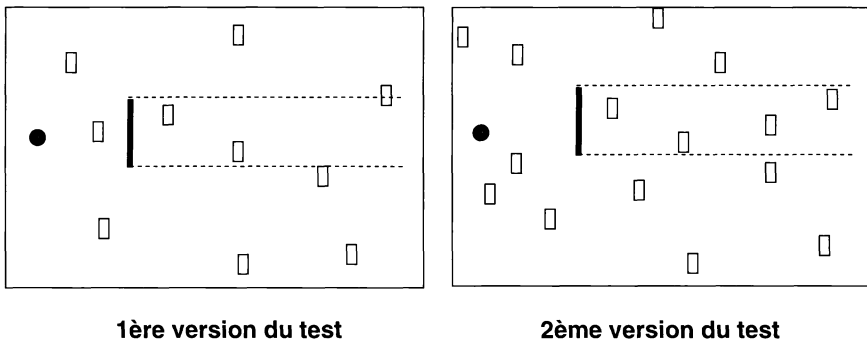


Schéma 4 : **Espace inaccessible limité par deux droites horizontales**

En conclusion on peut donc dire qu'un tiers seulement des enfants a construit les outils conceptuels permettant de résoudre la situation proposée, c'est-à-dire maîtrisent la technique de la visée.

## 2) *Étoiles visibles depuis la Terre*

Le pourcentage de bonnes réponses est de 35 %. Les élèves qui éprouvent des difficultés à délimiter avec précision l'horizon d'un observateur terrestre représentent 44 % de l'effectif global. Il reste 21 % de réponses totalement incorrectes.

Les différences observées entre les deux tests s'expliquent par le nombre d'étoiles qui a été sensiblement diminué, rendant la tâche plus

aisée. Toutefois on retrouve les mêmes tendances : un grand nombre d'élèves ne savent pas se déterminer lorsque les étoiles sont proches de la limite du champ de visibilité.

## Analyse comparative

Une analyse comparative des résultats, prenant en compte les mêmes catégories que précédemment (a : réponse exacte, b : réponse approximative, c : réponse erronée) permet d'élaborer le tableau 3 suivant :

	a	b	c
<u>exercice 1</u> (écran opaque)	32 % 49 %	29 % 25 %	39 % 26 %
<u>exercice 2</u> (espace visible de la Terre)	35 % 26 %	44 % 62 %	21 % 11 %

Tableau 3 : **Deuxième test écrit**

En petits caractères sont rappelés les résultats du premier test.

On note un nombre plus élevé de réponses erronées dans le premier exercice que dans le second ; cela s'explique par le nombre important d'élèves qui délimitent une bande derrière l'écran. Les réponses approximatives à l'exercice 2 sont plus nombreuses qu'à l'exercice 1, la difficulté liée au concept de plan tangent en est sans doute responsable.

Mais, contrairement à ce qui avait été obtenu lors du premier test, les exercices 1 et 2 ont ici des taux de réussite très voisins. Lorsque le concept de droite de visée est construit et utilisé par les élèves pour résoudre la tâche, ceux-ci visualisent une droite reliant l'observateur aux objets à observer ; parfois ce tracé est virtuel (on voit les enfants utiliser leur règle pour matérialiser cette droite), parfois on trouve les tracés sur les tests. Lorsque cette droite rencontre un obstacle, l'objet n'est pas considéré comme visible, dans le cas contraire il l'est. Un raisonnement correct est alors en place, et les deux situations proposées sont correctement traitées dans les mêmes proportions.

### 3.3. Synthèse

La difficulté à délimiter l'espace accessible à un observateur terrestre ne semble donc pas liée essentiellement au caractère particulier de cette situation : elle réside surtout dans l'utilisation d'une droite de visée, nécessaire

pour déterminer un champ visuel quel qu'il soit.

Si cet outil est construit, les enfants résolvent aussi bien les situations de la vie courante que la situation relative à l'astronomie. La seule différence réside dans le fait que, dans la situation astronomique, la droite reliant l'observateur à l'objet observé est une tangente à une sphère. Cela suppose donc un passage à la limite qui semble possible sans difficulté, du moins au CM. En effet les tests ont montré que pour les étoiles les progrès étaient notables entre le CE2 et le CM2, alors que ce n'est pas le cas pour les quilles. Cette progression est certainement le signe d'une plus grande capacité, au CM, à concevoir cette tangente.

Le fait que la difficulté essentielle réside pour les élèves dans le recours à une droite de visée constitue une conclusion importante : elle peut conduire à mettre en place des situations d'apprentissage faciles à élaborer, dans un espace réduit. L'observateur pourra facilement y tester ses hypothèses et élaborer un modèle explicatif correct. Il restera ensuite à transférer les acquis à l'espace astronomique.

## 4. CONCLUSION

Comme nous l'avons souligné, la conceptualisation du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même nécessite à la fois un changement de référentiel et un changement d'espace.

Le changement de référentiel s'accompagne d'une inversion de sens : le sens de rotation de la Terre sur elle-même est inverse de celui du mouvement apparent de la voûte céleste. Nous avons montré que la détermination du sens de rotation de la Terre est difficile pour certains élèves et nous avons identifié la cause de cette difficulté : c'est bien la nature du mouvement de la Terre, c'est-à-dire un mouvement de rotation autour d'un axe, qui pose problème aux élèves, puisqu'ils sont tout à fait capables de raisonner correctement dans des situations de translation.

Pour contourner cet obstacle, on peut mettre en place une analyse en termes de dé-placement, c'est-à-dire en termes de changement de placement. On est ainsi conduit à une analyse « statique » de la situation, qui suppose une capacité importante de décentration. Il faut pouvoir en effet déterminer l'espace accessible à un observateur terrestre et cela s'avère difficile pour certains élèves ; mais nous avons montré que ces difficultés existent également dans des situations de la vie courante.

On constate donc que les obstacles décelés dans cette recherche ne sont pas spécifiques de la situation étudiée, mais sont inhérents aux mouvements de rotation d'une part, et à la détermination de champs visuels

d'autre part. Ces deux conclusions permettent d'envisager des situations d'apprentissage déconnectées d'un contexte astronomique. Ces apprentissages devraient permettre ultérieurement une conceptualisation plus facile du mouvement diurne de la Terre.

## BIBLIOGRAPHIE

- MAURY L., SALTIEL E. & VIENNOT L. (1981). Étude de la notion de mouvement chez l'enfant à partir des changements de référentiels. *Revue française de pédagogie*, n° 40, pp. 15-29.
- MERLE H. & DUSSEAU J.-M. (1996). Apprentissage du mouvement diurne de la Terre par des enfants âgés de 9 à 10 ans. *Didaskalia*, n° 9, pp. 147-156.
- NUSSBAUM J. (1979). Children's conceptions of the Earth as a cosmic body : A cross age study. *Science Education*, vol. 63, n° 1, pp. 83-93.
- PIAGET J. (1972). *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. Paris, PUF.

### **Recherche et développement en didactique de la physique à l'université ; résultats et tendances**

### **Research and development in Physics Didactics at University ; issues and trends**

**Hans NIEDDERER**

Université de Brême, Physics Department  
PO Box 330440  
28334 Bremen, Allemagne.

*(Traduit par Martine Méheut et Andrée Tiberghien)*

#### **Résumé**

*Au plan international, l'enseignement de la physique à l'université est actuellement dans un processus de développement et de changement. D'importantes insuffisances de cet enseignement se manifestent souvent par un très bas niveau de motivation des étudiants ; il s'en suit une diminution du nombre de nouveaux étudiants, avec, de plus, après enseignement, un manque de compréhension qualitative des concepts de base de la physique. La didactique de la physique peut contribuer à des améliorations en développant de nouvelles approches d'enseignement et des*

*recherches sur la motivation des étudiants et sur leur compréhension des concepts de base. Cet article discute des directions pertinentes de recherche et propose, plus particulièrement, des questions de recherche et des exemples de résultats. Les cours et les TP méritent d'être soigneusement pensés pour devenir à la fois plus motivants pour les élèves et plus efficaces pour l'apprentissage. Des formes plus interactives de cours et plus d'efforts pour relier théorie et pratique pendant les TP constituent des principes importants ; il s'agit non seulement de faire avec « les mains » mais aussi avec « la tête ».*

**Mots clés :** *physique, apprentissage à l'université, recherche empirique, enseignement constructiviste.*

### **Abstract**

*University physics education world-wide is in a process of development and change. Important deficiencies of university teaching are often a low level of motivation followed by decreasing enrolment numbers, and a lack of qualitative understanding of basic concepts in physics. Physics didactics can contribute to improvement with development of new teaching approaches and research about motivation of students and their understanding of basic concepts. The following article discusses relevant directions of research, related research questions and exemplary results. Lectures and labwork deserve careful thoughts to become more motivating for students and more effective for learning. Important principles are more interactive forms of teaching in lectures and more efforts to connect theory and practice during labwork, not only with « hands-on », but also with « minds-on ».*

**Key words :** *physics, learning university, empirical research, constructivist teaching.*

### **Resumen**

*La enseñanza de la física en la universidad, en todo el mundo, está actualmente en un proceso de desarrollo y cambio. Importantes deficiencias de la enseñanza universitaria son, a menudo, un bajo nivel de motivación seguido por una disminución del número de nuevos estudiantes, y una falta de comprensión cualitativa de los conceptos básicos en física. La didáctica de la física puede contribuir a su mejoramiento con el desarrollo de nuevos enfoques de enseñanza y la investigación sobre la motivación de los estudiantes y su comprensión de los conceptos básicos. El presente artículo discute algunas direcciones relevantes de investigación, y más específicamente propone algunas preguntas de investigación y ejemplos de los resultados. Los cursos y las prácticas de laboratorio ameritan de ser cuidadosamente pensadas para devenir al mismo tiempo motivantes para los alumnos y más eficaz para el aprendizaje. Algunos principios importantes son formas más interactivas de cursos y más de esfuerzo para conectar teoría y práctica durante las prácticas de laboratorio, se trata no solamente de hacer con « las manos » sino también con « la cabeza ».*

**Palabras claves :** *física, aprendizaje en la universidad, investigación, enseñanza.*



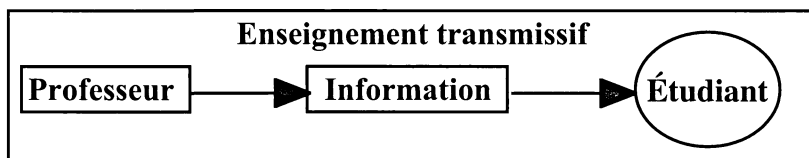
## 1. INTRODUCTION

Au niveau international, l'enseignement de la physique à l'université est actuellement dans un processus de développement et de changement ; cette situation est très bien présentée dans le livre « *The changing role of physics departments in modern universities* » (Redish et al., 1997). Une raison de cette nouvelle dynamique vient des étudiants eux-mêmes : nombreux sont ceux qui trouvent que la physique n'est pas un sujet qui vaille encore la peine d'être étudié ; ainsi le nombre d'étudiants s'inscrivant en physique décroît et les départements des universités sentent le besoin de réagir. Une autre raison de cette dynamique vient des résultats de la recherche en didactique : les cours « traditionnels » de physique du début de l'université semblent insuffisants pour permettre aux étudiants de comprendre les concepts de la physique (Nachtigall, 1985 ; McDermott, 1997 ; Hake, 1998a ; Mazur, 1997).

Les articles de Hake (1998a, 1998b) montrent également que la principale tendance qui ressort de cette discussion sur l'amélioration de la situation est que l'enseignement devrait devenir plus interactif pour les cours et les travaux pratiques (TP) ; cette interactivité devrait porter non seulement sur « faire avec les mains » mais sur « faire avec la tête » (« *heads-on* » and « *hands-on* »). En ce qui concerne les TP, la même tendance est soulignée par Lunetta : « *Pour beaucoup d'étudiants, un TP signifie manipuler du matériel mais pas manipuler des idées* » (Lunetta, 1998, p. 250).

Cet article est centré sur des études empiriques relatives à la compréhension et à l'apprentissage de la physique par les étudiants<sup>1</sup>. Ce type de recherche a permis de développer, au cours de ces vingt dernières années au moins, un corpus substantiel de résultats reconnus sur les conceptions des étudiants (« *alternative frameworks* ») dans tous les domaines de la physique (Driver et al., 1994 ; Pfundt & Duit, 1998). Un champ de recherche plus récent concerne les processus d'apprentissage en physique (Duit et al., 1992). Toutes ces recherches ont conduit à changer le point de vue sur l'enseignement (figure 1).

### Information



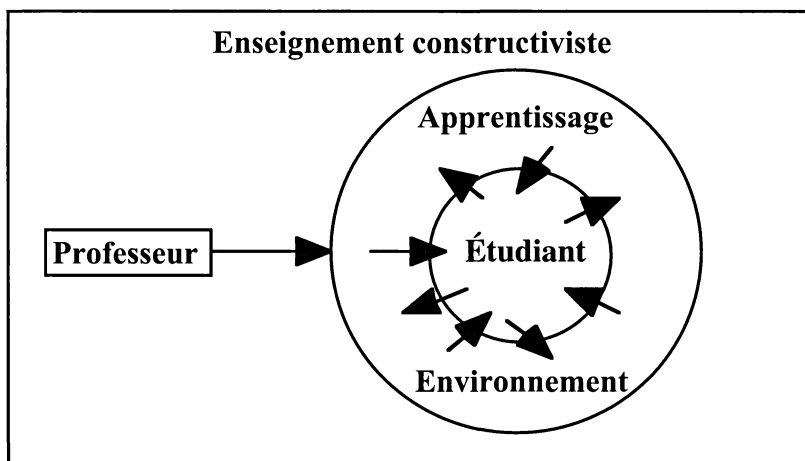


Figure 1: Deux perspectives différentes sur l'enseignement et l'apprentissage

La principale différence que l'on remarque est que, dans la perspective transmissive, on suppose que l'information donnée par l'enseignement peut être directement apprise par les étudiants avec un processus comme la reproduction d'une information donnée (par exemple à partir de la présentation du professeur lors d'un cours), tandis que, dans la perspective constructiviste, le professeur, grâce à des discussions, à des informations données, à des TP, au travail en groupe, peut seulement fournir un environnement d'apprentissage. Cependant les principaux processus mentaux des étudiants sont déterminés, selon le constructivisme, par leur propre façon de penser. Les étudiants peuvent alors élaborer une compréhension spécifique tout à fait différente de celle dont le professeur avait l'intention. Des travaux empiriques (Nachtigall, 1985 ; Galili et al., 1993 ; Thornton, 1997 ; Hake, 1998a) ont montré que de nombreux étudiants, après les cours de physique du début de l'université<sup>2</sup>, avaient très souvent des conceptions différentes de celles que l'on voulait qu'ils apprennent. Une vue plus constructiviste de l'enseignement et de l'apprentissage serait en faveur d'un type plus interactif de cours (Mazur, 1997 ; McDermott, 1997 ; van Heuvelen, 1997 ; Hake, 1998b) et de TP (von Aufschnaiter et al., 1997 ; Bécu-Robinault & Tiberghien, 1998 ; Niedderer et al., 1998). Ceci pourrait donner aux étudiants plus de chances d'être actifs en « *expérimentant avec des idées* » (Lunetta, 1998), et, en retour, fournirait aux étudiants et aux professeurs plus d'informations sur ce qui se passe pendant l'enseignement.

## 2. LE RÔLE DE LA RECHERCHE EN DIDACTIQUE (PHYSICS EDUCATION) DANS L'ENSEIGNEMENT UNIVERSITAIRE

En général, le rôle de la recherche en didactique de la physique dans l'enseignement à l'université dépend de l'attitude du corps enseignant : les professeurs sont-ils prêts à accepter que l'enseignement soit une part pertinente de leur travail, qu'il puisse être mis en question et amélioré grâce à des coopérations ? D'après notre expérience, en Allemagne et aux États-Unis, le corps enseignant fut réticent dans le passé, mais il devient plus conscient des résultats de l'enseignement quand il se trouve face à des problèmes comme celui de la diminution du nombre de nouveaux étudiants en physique. Dans ce cas, la coopération entre les enseignants et les chercheurs en didactique devient importante et des processus d'innovation peuvent démarrer. Les négociations elles-mêmes pourraient aussi être l'objet d'un type important de recherche portant sur la compréhension de l'enseignement par les professeurs d'université et son évolution avec le temps (Fischler, 1994). De mon point de vue, l'innovation devrait porter particulièrement sur quatre aspects :

- des parties de cours plus interactives, incluant de courtes phases de travail en groupe avec des réactions d'autres enseignants ainsi que du professeur ;
- les contenus et le type d'activités dans les TP (clarification des objectifs, restructuration des TP et des feuilles de TP selon ces objectifs) ;
- la mise en oeuvre de nouvelles technologies dans l'enseignement et dans l'apprentissage de la physique ;
- la mise en oeuvre de TP conduisant « à faire non seulement avec les mains mais avec la tête » et de mini-projets qui peuvent, de façon significative, contribuer aux deux objectifs suivants : « relier théorie et pratique » et « améliorer la qualité de la pensée scientifique ».

En ce qui concerne ce type d'innovation, la recherche en didactique de la physique peut avoir comme rôles :

- d'être un moteur de l'innovation, dans la mesure où elle accorde de l'attention à l'enseignement et à l'apprentissage ;
- de conduire à des formes plus interactives d'enseignement, puisqu'elle est aujourd'hui fondée théoriquement sur l'enseignement et l'apprentissage constructivistes ;
- d'informer les professeurs d'université qu'elle a développé un corps de « connaissances pédagogiques » qui inclut celles sur les conceptions

typiques des étudiants, sur les nouveaux média et nouvelles technologies, sur de nouvelles approches didactiques, etc.

### **3. TYPES DE RECHERCHE EN DIDACTIQUE QUI PEUVENT ÊTRE UTILES À L'UNIVERSITÉ**

#### **3.1. Recherche sur les motivations et l'intérêt des étudiants en physique**

Dans les départements de physique des universités, un problème crucial est la diminution du nombre des étudiants et le nombre croissant des étudiants qui, après quelque temps (typiquement une année), sont découragés par les difficultés, ne sont pas motivés par les cours de physique et abandonnent cette discipline. Ainsi les problèmes relatifs à la faible motivation des étudiants pour choisir l'étude de la physique à l'université jouent un rôle très important dans la crise actuelle des départements de physique. Par conséquent, le rôle de la recherche en didactique dans ce domaine est très important, cette recherche devrait étudier la motivation et l'intérêt des étudiants.

Les questions de recherche pourraient être les suivantes :

- Quelles sortes de sujet, de types d'enseignement et de média sont intéressants et motivants pour les étudiants ?
- Quelles sont les attentes des étudiants quand ils démarrent la physique à l'université ?
- Pendant un cours spécifique de physique, qu'est-ce qui est intéressant, qu'est-ce qui est ennuyeux pour les étudiants ?
- Quelles sont les raisons qui poussent les étudiants à quitter la physique après l'avoir étudiée quelque temps ?

Des méthodes de recherche ont déjà été développées dans ces domaines ; jusqu'à maintenant elles furent mises en oeuvre plus au lycée qu'à l'université (Fischer & Horstendahl, 1997). Il s'agit d'entretiens, de questions ouvertes, de questionnaires demandant aux étudiants, pour des domaines spécifiques, d'évaluer leur intérêt grâce à une série d'items pré-formulés (Häußler, 1987 ; Häußler et al., 1996). Nous avons sélectionné quelques résultats relatifs à l'enseignement de la physique à l'université. Dans une étude avec 25 étudiants de seconde année d'université en physique, von Aufschnaiter et al. (1997) ont trouvé, à un niveau général, que les étudiants étaient plutôt contents d'étudier la physique, mais que,

comparativement, ils étaient beaucoup moins contents de ce qu'on leur demandait d'effectuer pendant les TP de physique. Un autre résultat spécifique sur la motivation (non publié) provient d'un questionnaire ouvert passé, à Brême, à 30 étudiants de physique en première année : pour eux, les « mini-projets » introduits nouvellement (en fin du semestre, trois semaines de travail en laboratoire avec leurs propres questions de recherche) représentaient un des aspects les plus motivants de l'ensemble du cours ; 11 des 18 étudiants (sur les 30 passés) qui ont répondu à ce questionnaire ont mentionné spontanément les « mini-projets » comme un aspect très positif de cet enseignement : il a été cité bien plus souvent que les autres.

### **3.2. Recherche reliée à la compréhension de la physique par des étudiants**

La recherche sur la compréhension de la physique par des élèves de tout âge a constitué un des efforts majeurs de la didactique de la physique pendant les trois dernières décennies.

Cette recherche a produit un important corpus de connaissances sur les conceptions alternatives des élèves en relation avec les concepts clés de la physique. De nombreuses études parallèles, menées dans tous les continents, ont produit des résultats se recouvrant au moins partiellement ; ces résultats sont publiés dans divers livres et journaux (Driver et al., 1994 ; Pfundt & Duit, 1998). Même les résultats au niveau de l'université indiquent que la différence entre ce qui est enseigné et ce qui est appris est beaucoup plus grande que ne le pensent de nombreux enseignants. Il semble qu'il y ait un sérieux décalage entre ce qui est traditionnellement enseigné en physique et ce que la plupart des étudiants ont appris, plus particulièrement dans les premières années d'université (Mazur, 1997 ; McDermott, 1997).

Ainsi, à partir de ces résultats relatifs à l'enseignement de la physique à l'université, plusieurs questions de recherche se posent pour la didactique.

– Comment la compréhension des concepts de base de la physique peut-elle être améliorée ? Cette question est reliée à tous les aspects de l'environnement d'apprentissage de la physique, tels que le contenu, les cours, les TP, le travail en groupe des élèves, etc.

– Comment peut-on évaluer la compréhension des étudiants ? Il semble clair que des tests tels que le FCI (Hestenes et al., 1992) ont une validité limitée, d'autres méthodes (voir ci-dessous) devraient être utilisées de manière complémentaire.

– Quels types de connaissance les étudiants ont-ils après ces cours de physique du début de l'université (capacité à résoudre des problèmes,

capacité à utiliser des outils mathématiques, compréhension des concepts de base et des lois) ?

– Quelle sont les strates ou composantes possibles des connaissances des étudiants après enseignement (Petri & Niedderer, 1998) ?

– Quelles connaissances ont-elles été acquises à partir des différents cours, selon les différentes approches (différence entre pré et post tests) ?

Certaines des nouvelles approches interactives, mises en oeuvre dans des universités des États-Unis, ont été évaluées :

– « Workshop Physics » (l'évaluation est donnée dans la « home page » de Laws : <http://physics.dickinson.edu/> , un « mot de passe » doit être demandé à P. Laws),

– « Peer Instructions : Getting students to think in class » (l'évaluation est donnée dans Mazur, 1997, et la « home page » de Mazur : <http://galileo.harvard.edu>),

– « Physics by Inquiry » (pour l'évaluation voir particulièrement McDermott, 1997),

– « Using Interactive Lecture Demonstrations to Create an Active Learning Environment » (pour l'évaluation voir Thornton, 1997).

Aux États-Unis également, certains outils ont été développés pour fournir des évaluations standardisées de la compréhension des élèves, particulièrement en mécanique. Il s'agit :

– de l'inventaire du concept de force (FCI) par Hestenes & Halloun,

– du test de base de mécanique (mechanics base line test : MBT) par Hestenes & Wells,

– de l'évaluation conceptuelle de la force et du mouvement (FMCE) par Thornton & Sokoloff,

– d'un test de compréhension des graphes en cinématique (TUG-K) par Beichner (voir McDermott, 1997, p. 142).

Des tests similaires dans d'autres domaines sont actuellement développés (voir « home page » de P. Laws : [http://physics.dickinson.edu/look for « conceptual learning assessments »](http://physics.dickinson.edu/lookfor%20conceptuallearningassessments) , un « mot de passe » doit être demandé à P. Laws). Mais d'autres méthodes devraient être utilisées pour obtenir des résultats qualitatifs complémentaires sur la compréhension des étudiants. Certaines de ces méthodes sont :

– des questionnaires écrits à questions ouvertes avec des « thinking-type questions » (Schecker, 1988a),

– des entretiens individuels avec des présentations d'expériences (McDermott, 1997),

– des entretiens où les étudiants doivent réaliser eux-mêmes de nouvelles expériences et répondre à des questions relatives à leurs actions et à leur compréhension (Schecker et al., 1998).

Ce paragraphe présente certains des résultats concernant la compréhension de la physique après l'enseignement au début de l'université. En Allemagne, Nachtigall (1985) a mené une étude concernant les étudiants du début de l'université après enseignement de la physique.

Un de ses résultats est que, à la fin de l'enseignement correspondant, plus de 50 % des étudiants ont des conceptions non-newtoniennes de la force. Aux États-Unis, Hestenes et d'autres chercheurs ont développé un test spécial pour détecter la compréhension du concept newtonien de force, appelé le « *Force Concept Inventory (FCI)* » (Hestenes et al., 1992). Pour analyser la compréhension du concept de force, Hake a utilisé ce test lors d'une étude très importante portant sur environ 6000 étudiants en physique dans différentes institutions des États-Unis (« colleges » et universités). Il a trouvé que la compréhension des étudiants a peu évolué dans le cas des cours « traditionnels » alors qu'une évolution plus importante est apparue dans le cas des « cours interactifs ». Cependant il n'a trouvé à peu près aucun cours avec plus de 70 % d'étudiants ayant évolué positivement (Hake, 1998a).

Dans notre groupe de recherche, nous avons mené, à petite échelle, une investigation de cette sorte pour vérifier les effets de plusieurs innovations dans un cours du début de l'université fait pour de futurs professeurs à l'université de Brême (Sander & Niedderer, 1998). Nous avons modifié les cours pour avoir des formes plus interactives, nous avons incorporé de nouvelles technologies – plus spécifiquement un logiciel de modélisation (STELLA) – dans les cours et les TP, et nous avons changé les feuilles (cahiers) de TP pour proposer des tâches plus ouvertes. Nous avons analysé les effets de tout ceci avec une méthode utilisant un groupe contrôle, et avons comparé les pré- et post-tests réalisés avec les tests FCI et MBT pour les cours expérimentaux et ceux plus traditionnels pour les étudiants ayant choisi la physique en priorité. Le niveau en physique de ces étudiants était plus élevé à la fois au pré et post tests, mais insuffisant : le pourcentage de réponses correctes, même au post-test, était loin de 100 %, puisque de 64 % en moyenne. Cependant, les acquisitions pour les cours expérimentaux (le gain entre le pré- et post-test est en moyenne 16 % étaient plus élevées que pour le cours traditionnel (le gain est en moyenne de 11 %), mais pas aussi importantes que ce que nous avons supposé ou espéré. Ainsi, ce type de résultats montre le besoin de travaux plus

approfondis, analysant les effets des différents éléments de l'environnement d'apprentissage.

### 3.3. Études de processus d'apprentissage

Ces recherches sur la compréhension soulèvent deux importantes questions. La première est qu'elles donnent des résultats globaux sur la compréhension à la fin d'un cours, mais pas d'information sur les effets d'apprentissage d'éléments spécifiques de l'environnement : contenus spécifiques, cours, TP, didacticiels, etc. Ce problème conduit à développer des « *expériences d'enseignement* » (Niedderer & Goldberg, 1995 ; Duit & Komorek, 1997). Un autre problème est que ces études visent à analyser seulement si, à la fin d'un cours, un point de vue scientifique est maîtrisé ou non par les étudiants. Elles ne prennent pas en compte l'éventualité de nouvelles conceptions intermédiaires construites par les étudiants, en analysant l'état final de manière plus différenciée ou en analysant le processus cognitif se déroulant tout au long de l'apprentissage pendant l'ensemble du cours. Cette question peut être résolue en menant des « *études de processus d'apprentissage* » (Niedderer et al., 1992 ; Tiberghien, 1997). Les deux types peuvent être combinés pour donner des résultats optimaux.

Jusqu'ici ces études ont été généralement réalisées avec des petits nombres d'étudiants ; elles peuvent apporter des éclairages de type qualitatif mais rarement donner lieu à une analyse statistique des processus d'apprentissage pour de grands nombres d'étudiants (Thornton, 1997). De manière générale, ce type de recherche a montré qu'on trouve habituellement des conceptions, ou des notions, intermédiaires entre les conceptions de la vie quotidienne et le concept scientifique visé par l'enseignant. Dykstra (1992) décrit une série de changements conceptuels en relation avec le concept de force. Il nomme les différentes conceptions :

- (1) conception initiale,
- (2) conception initiale perfectionnée,
- (3) première version de conception newtonienne,
- (4) conception newtonienne perfectionnée.

Tiberghien (1997) parle de notions intermédiaires relatives à la chaleur et la température. À partir de ses investigations empiriques, elle décrit ces notions intermédiaires développées par les étudiants, qui se situent entre leurs conceptions initiales de la vie quotidienne et ce qui était visé par l'enseignement. À partir de ces recherches, elle reformule des objectifs plus



réalistes pour l'enseignement « *Le but est de permettre la conception de situations d'enseignement plus favorables à l'apprentissage* », (Tiberghien, 1997, p. 359).

Galili et al. (1993) parlent d'états intermédiaires pour l'apprentissage en optique géométrique. Thornton (1997) parle de dynamique conceptuelle, en suivant les évolutions des notions de force et de mouvement chez les étudiants. Dans les expériences d'enseignement, une démarche d'enseignement particulière est enseignée à un petit nombre d'étudiants dans une sorte de situation de laboratoire ; le processus complet est enregistré au magnéto -scope ou -phone, puis transcrit, et une attention particulière est portée aux réponses des étudiants à des parties spécifiques de l'environnement d'apprentissage. Tout ceci est analysé par des méthodes qualitatives d'interprétation. Niederrerr & Goldberg (1995) ont décrit une telle expérience d'enseignement auprès de trois étudiants de collège dans le champ de l'apprentissage des circuits électriques. De manière similaire, Sander & Niedderer (1998) analysent les effets de l'utilisation d'un logiciel de modélisation (STELLA) intégré dans les TP de physique au début de l'université. Duit & Komorek (1997) ont réalisé ce type d'expérience d'enseignement dans le champ du chaos déterministe. Schoster & von Aufschnaiter 1998 réalisent des recherches semblables auprès d'étudiants du onzième grade (1ère des lycées) et dans les TP de physique à l'université. Ils utilisent des « cartes spéciales » : les étudiants reçoivent quatre sortes de cartes donnant :

- (1) les tâches expérimentales,
- (2) des informations simples que les étudiants peuvent choisir d'utiliser ou non,
- (3) des hypothèses spécifiques,
- (4) des informations théoriques de haut niveau.

Les deux dernières cartes sont introduites par l'enseignant ou le chercheur. Ils analysent leurs effets en termes de niveaux de complexité de l'information enseignée et des productions des étudiants (Schoster & von Aufschnaiter, 1998).

Dans ce type de travaux, des questions possibles de recherche sont les suivantes :

- Quels sont les états intermédiaires de connaissance pendant le processus d'apprentissage se déroulant lors d'un cours ?
- Quel est l'état de connaissance à la fin d'un cours ? Nous supposons qu'on ne doit pas s'attendre à une seule vue, une seule conception – qu'elle soit correcte scientifiquement ou plus proche de la vie quotidienne –, mais

plutôt que les étudiants, après enseignement, disposent de différentes vues, différentes conceptions. Nous parlons de différentes strates ayant une intensité et un statut différents (Petri & Niedderer, 1998).

– Quels sont les effets d'éléments spécifiques de l'environnement d'apprentissage sur le développement des connaissances des étudiants ?

Ces études peuvent prendre différentes formes, plus centrées sur un dispositif de type « avant-après » ou sur une sorte d'image stroboscopique de plusieurs instantanés au cours du temps ou sur des études de processus, mais pour seulement quelques étudiants (Niedderer et al., 1992).

### **3.4. Recherches sur les cours magistraux**

Les cours de physique à l'université sont plutôt traditionnels. Leur but principal est de fournir aux étudiants une information compétente (au sens qu'elle est correcte et importante en physique) et pertinente, aussi claire que possible. On considère plus ou moins que les étudiants prennent cette information, et ceci signifie apprentissage (voir figure 1). Une vision plus constructiviste de l'apprentissage essaierait certainement d'y ajouter un engagement plus actif ou interactif de la part des étudiants. Plusieurs suggestions de ce type existent, de l'instruction entre pairs (Mazur, 1997) à d'autres formes de cours interactifs (van Heuvelen, 1997), la version extrême étant de ne plus avoir de cours du tout (Laws, 1997). Le fameux cycle d'apprentissage selon Zollman (1997) est également un exemple de ce type d'introduction de formes plus interactives dans les cours.

Dans la mesure où le rôle des cours est crucial pour l'enseignement universitaire, la recherche pourrait se centrer sur l'efficacité des cours. En principe, ceci peut être traité seulement par des méthodes fortement liées temporellement au déroulement du cours. Après chaque cours, par des questions ouvertes, on peut demander aux étudiants ce qu'ils ont appris ou, plus généralement, quel profit ils ont tiré de ce cours. De plus, on peut réaliser des entretiens pour tester leur compréhension du contenu du cours.

Des questions possibles de recherche seraient par exemple :

– Quelle est la contribution des cours à la compréhension et à l'apprentissage de la physique ?

– Quel est le point de vue des étudiants sur différents types de cours ?

– Comment les effets de motivation des étudiants et d'apprentissage de la physique diffèrent selon différents types de cours ?

– Du point de vue des étudiants, quels sont les principaux critères d'un bon enseignement sous forme de cours ?

– Quelle vision de l'apprentissage (plus active ou plus passive) les étudiants ont-ils ? Quelles sont leurs métaconnaissances sur l'apprentissage (Gunstone, 1992) ?

### **3.5. Recherches concernant l'utilisation des nouvelles technologies**

Des ordinateurs peuvent être introduits de nombreuses manières dans l'enseignement de la physique à l'université : ils peuvent être utilisés en cours ou en TP, pour la prise de données et la présentation graphique en temps réel des résultats aussi bien que pour la modélisation théorique, dans des labos informatisés à l'université ou chez soi sur son PC personnel, éventuellement connectés par internet (Thornton & Sokoloff, 1990 ; Goldberg, 1997 ; Niedderer & Schecker, 1997). On trouve d'intéressants résultats concernant les effets positifs :

- de l'utilisation de nouvelles technologies sur la motivation,
- de l'utilisation de démonstrations pendant les cours avec une interaction grâce au micro-computer,
- de l'utilisation d'un logiciel de modélisation pour montrer les graphes en temps réel, et demander aux étudiants de prédire et de décrire (Thornton, 1997),
- de l'utilisation d'un logiciel de modélisation comme STELLA (Schecker, 1998 ; Niedderer et al., 1998).

Cependant, les expériences d'utilisation pratique des ordinateurs en cours et en TP soulèvent de sérieuses questions. Une hypothèse, par exemple, est que l'utilisation de l'ordinateur, au lieu de favoriser l'apprentissage et la communication, pourrait conduire à un usage plus technologique en cliquant ici et là et ainsi dispenser même de penser.

La recherche dans ce domaine semble donc importante. Quelques questions de recherche possibles seraient :

- Quels sont les effets positifs et négatifs de l'utilisation des nouvelles technologies sur la motivation des étudiants ?
- Quels sont les effets positifs et négatifs de l'utilisation des nouvelles technologies sur la compréhension et l'apprentissage de la physique ?
- Comment les technologies informatiques peuvent-elles être utilisées pour développer la motivation et l'apprentissage des étudiants en physique ?

Cette question de recherche doit être analysée pour différents types de logiciels, pour les cours et les TP pris séparément, et conduire à de meilleures stratégies d'enseignement pour les cours et un meilleur guidage des TP par les tuteurs et les feuilles de TP.

### 3.6. Recherches sur les travaux pratiques

Les travaux pratiques dans l'enseignement de la physique à l'université peuvent servir différents objectifs (Welzel et al., 1998). Peut-être les objectifs les plus importants sont-ils de relier théorie et pratique, de développer des compétences expérimentales et de développer la motivation des étudiants pour l'étude de la physique. De nombreux résultats de recherche semblent montrer que les TP traditionnels à l'université échouent au moins à promouvoir le premier et le troisième de ces objectifs ; ils ont tendance à conduire les étudiants à travailler avec des guides (feuilles) de TP de type recette, plus « avec les mains » qu'« avec l'esprit » (Lunetta, 1998). Cependant, des recherches en cours montrent que certains changements dans les feuilles de TP, ainsi que la formation des tuteurs et des TP plus ouverts peuvent avoir des effets positifs (Bécu-Robinault & Tiberghien, 1998 ; Niedderer et al., 1998).

Des hypothèses spécifiques du projet européen « Les travaux de laboratoire dans l'enseignement des sciences » (Séré et al., 1998) concernant les TP à l'université sont les suivantes.

Différentes formes de TP (plus ou moins ouvertes, manipulations ou expériences de démonstration) sont nécessaires pour atteindre différents objectifs. Dans une séquence de TP, différentes formes devraient être combinées pour faciliter l'apprentissage de différents types de connaissances conceptuelles et procédurales par les étudiants.

Les professeurs et/ou l'équipe d'enseignement (à l'université) jouent un rôle essentiel dans les TP. Des documents spéciaux, pour les enseignants et l'équipe d'enseignement, et des programmes de formation doivent être développés. Ces documents visent à ce que les étudiants atteignent effectivement les objectifs précisés ci-avant.

Une troisième hypothèse concerne l'importance du guidage des élèves en TP dans la structure des feuilles-guides. Une recherche (Tiberghien et al., 1998) montre que la plupart des feuilles de travaux pratiques sont très contraignantes. Par ailleurs, à partir d'une recherche sur les objectifs des travaux pratiques (Welzel et al., 1998), nous savons que les enseignants – et les étudiants – les voient comme une bonne opportunité de mieux relier théorie et pratique et de développer la pensée scientifique par des TP

ouverts. L'utilisation d'une stratégie spécifique d'activités explicites des étudiants de « *prédiction - observation - explication (POE)* » (Champagne et al., 1985) peut également contribuer, de manière significative, à l'objectif « relier théorie et pratique », à la fois par des expériences de cours et par des manipulations (au cours des TP).

Ainsi, des questions de recherche sur les travaux de laboratoire pourraient être :

– Quels types de processus d'apprentissage se déroulent durant des TP ?

– Si des travaux pratiques spécifiques visent certains objectifs, dans quelle mesure le TP est-il efficace par rapport à ces objectifs ?

– Après une formation des tuteurs, comment les interactions du tuteur avec les étudiants pendant les TP sont-elles modifiées ?

– Si une feuille de TP a été modifiée, en quoi ce changement modifie-t-il le travail des étudiants pendant le TP ?

– Quel type de TP est-il motivant pour les étudiants ?

La recherche sur l'éducation scientifique a déjà commencé à analyser l'apprentissage des étudiants pendant les TP en faisant des enregistrements vidéo du travail de groupes d'étudiants.

L'enregistrement vidéo continu de séances de TP et l'analyse de ces enregistrements ont été utilisés pour reconstruire les activités pendant les TP. Différentes méthodes ont été développées pour analyser les données. L'une d'elles consiste à utiliser une analyse interprétative des données vidéo et des transcriptions très détaillées pour décrire les processus d'apprentissage pendant les TP (Bécu-Robinault & Tiberghien, 1998 ; von Aufschnaiter & Welzel, 1998 ; Sander & Niedderer, 1998). D'une autre manière, les mêmes données vidéo peuvent être analysées sans transcriptions par une procédure de catégorisation, qui peut aider à traiter une plus grande quantité de données ; cette procédure permet de classer les activités des étudiants pendant les TP et d'évaluer leur capacité à utiliser la physique pendant ces activités (Niedderer et al., 1998).

## 4. CONCLUSION

L'enseignement de la physique à l'université apparaît comme un domaine intéressant pour la recherche didactique. Le rôle de la recherche didactique peut être d'initier de nouvelles et de meilleures formes d'enseignement dans les cours et les TP et de contrôler leurs effets sur la

motivation comme sur l'apprentissage et la compréhension de la physique. Différentes méthodes ont été utilisées, comme des tests et des questionnaires, différents types d'entretiens avec ou sans expériences et des méthodes utilisant des données vidéo tant pour les cours que pour les TP. Quelques questions de recherche intéressantes ont été listées pour chacune des rubriques ci-dessus. Le rôle de la recherche didactique peut être un moteur et un contrôle de qualité pour les innovations, si les collègues des départements de physique prennent conscience de la nécessité de changement et acceptent la coopération avec les didacticiens.

## NOTES

1. D'autres types de recherche en didactique de la physique sont plus reliées au contenu de la physique lui-même, à de nouvelles expériences, à l'usage des nouvelles technologies, à une meilleure compréhension de la physique moderne etc.

2. Note des traducteurs : dans tout le texte, le début de l'université signifie les deux premières années d'université

## BIBLIOGRAPHIE

- BÉCU-ROBINAULT K. & TIBERGHEN A. (1998). Integrating stable experiments in energy teaching. *International Journal of Science Education*, vol. 20, n° 1, pp. 99-114.
- CHAMPAGNE A.B., GUNSTONE R.F. & KLOPFER L.E. (1985). Effecting changes in cognitive structure among physics students. In L. West & L. Pines (Éds), *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando, Academic Press, pp. 163-187.
- DRIVER R., SQUIRES A., RUSHWORTH P. & WOOD-ROBINSON V. (1994). *Making Sense of Secondary Science - Research into Children's Ideas*. London/New York, Routledge.
- DUIT R., GOLDBERG F. & NIEDERRER H. (1992) (Éds). *Research in Physics Learning – Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel, IPN.
- DUIT R. & KOMOREK M. (1997). Understanding the basic ideas of chaos-theory in a study of limited predictability. *International Journal of Science Education*, vol. 19, n° 3, pp. 247-264.
- DYKSTRA D.I. (1992). Studying conceptual change : Constructing new understandings. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Éds), *Research in physics learning : Theoretical issues and empirical studies*. Kiel, IPN, pp. 40-58.
- FISCHER H.E & HORSTENDAHL M. (1997). Motivation and Learning Physics. *Research in Science Education*, vol. 27, n° 3, pp. 411-424.
- FISCHLER H. (1994). Concerning the difference between intention and action : Teachers' conceptions and actions in physics teaching. In I. Carlgren, G. Handal & S. Vaage (Éds), *Teachers' minds and actions : Research on teachers' thinking and practice*. London, The Falmer Press, pp. 165-180.

- GALILI I., BENDALL S & GOLDBERG F.M. (1993). The effects of prior knowledge and instruction on understanding image formation. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, n° 3, pp. 271-301.
- GOLDBERG F. (1997). How can computer technology be used to promote learning and communication among physics teachers? In E.F. Redish, J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities, Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education*. Woodbury, American Institute of Physics, pp. 375-391.
- GUNSTONE R.F. (1992). Constructivism and metacognition : Theoretical issues and classroom studies. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Éds), *Research in physics learning : Theoretical issues and empirical studies*. Kiel, IPN, pp. 129-140.
- HAKE R.R. (1998a). Interactive-engagement versus traditional methods : A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, vol. 66, n° 1, pp. 64-74.
- HAKE R.R. (1998b). Interactive-engagement methods in introductory mechanics courses. Submitted to the potential new. *Journal of Physics Education Research* on 1998, <http://carini.physics.indiana.edu/SDI/>.
- HÄUßLER P. (1987). Measuring students' interest in physics - design and results of a cross-sectional study in the Federal Republic of Germany. *International Journal of Science Education*, vol. 9, n° 1, pp. 79-92.
- HÄUßLER P., HOFFMANN L., LANGEHEINE R., ROST J. & SIEVERS K. (1996). Qualitative Unterschiede im Interesse an Physik und Konsequenzen für den Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, vol. 2, n° 3, pp. 57-69.
- HESTENES D., WELLS M. & SWACKHAMER G. (1992). Force Concept Inventory. *Physic Teaching*, vol. 30, n° 3, pp. 141-158.
- HESTENES D. & WELLS M. (1992). A Mechanics Baseline Test. *Physic Teaching*, vol. 30, n° 3, pp. 159-166.
- LAWS P. (1997). Millikan Lecture 1996 : Promoting active learning based on physics education research in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, vol. 65, n° 1, pp. 13-21.
- LUNETTA V.N. (1998). The School Science Laboratory : Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. In K. Tobin & B. Fraser (Éds), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Kluwer, pp. 249-262.
- MAZUR E. (1997). *Peer Instruction - A User's Manual*. Upper Saddle River, Prentice Hall, et <http://galileo.harvard.edu/>.
- MCDERMOTT L.C. (1997). Bridging the gap between teaching and learning: The role of research. In E.F. Redish & J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities. Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education*. Woodbury, American Institute of Physics, pp. 139-166.
- NACHTIGALL D. (1985). Misconceptions in physics and a strategy to overcome them. In P.L. Lijnse (Éd.), *The many faces of teaching and learning mechanics in secondary and tertiary education*. Utrecht, GIREP/SVO/UNESCO, pp. 296-302.
- NIEDDERER H., GOLDBERG F & DUIT R. (1992). Towards learning process studies : A review of the workshop on research in physics learning. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Éds), *Research in Physics Learning - Theoretical Issues and Empirical Studie, Proceedings of an International Workshop in Bremen*. Kiel, IPN, pp. 10-28.
- NIEDDERER H. & GOLDBERG F (1995). Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, vol. 1, n° 1, pp. 73-86.
- NIEDDERER H. & SCHECKER H. (1997). Laboratory tasks with MBL and MBS for prospective highschool teachers. In E.F. Redish & J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics*

- Departments in Modern Universities, Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education.* Woodbury, American Institute of Physics, pp. 461-474.
- NIEDDERER H., TIBERGHIE A., BUTY C., HALLER K., HUCKE L., SANDER F., FISCHER H.E., SCHECKER H., AUFSCHNAITER S. & WELZEL M. (1998). *Category Based Analysis of Videotapes from Labwork (CBAV) - the Method and Results from four Case-Studies.* Working paper 9 from the European project labwork in science education (Targeted Socio-Economic Research Programme, Project PL 95-2005), <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/labwork/>.
- PETRI J. & NIEDDERER H. (1998). A Learning Pathway in High-School Level Quantum Atomic Physics. *International Journal of Science Education*, vol. 20, n° 9, pp. 1075-1088.
- PFUNDT H. & DUIT R. (1998). *Bibliography « Students' Alternative Frameworks and Science Education ».* Kiel, IPN, Distributed electronically by DUIT@ipn.uni-Kiel.de.
- REDISH E.F. & RIGDEN J.S. (1997). *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities. Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education.* Woodbury, American Institute of Physics.  
(A part of the book is available on Internet, <http://www.psrc-online.org/Class/class.html>.)
- SANDER F. & NIEDDERER H. (1998). Einsatz des Computers im physikalischen Praktikum – eine Lernprozessstudie –. In H. Behrendt (Éd.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie.* Alsbach, Leuchtturm, pp. 316-318.
- SCHECKER H. (1988a). Denkaufgaben zum Kraftbegriff. *Naturwissenschaften im Unterricht*, vol. 36, n° 4, pp. 36-39.
- SCHECKER H. (1998b). Integration of Experimenting and Modeling by Advanced Educational Technology : Examples from Nuclear Physics. In K. Tobin & B.J. Fraser (Éds), *The International Handbook of Science Education vol. 1.* Dordrecht, Kluwer, pp. 383-398.
- SCHECKER H. & GERDES J., 1998. Interviews über Experimente zu Bewegungsvorgängen (Interviews about experiments with force and motion). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, vol. 4, n° 3, pp. 61-74.
- SCHOSTER A. & AUFSCHNAITER S. (1998). The Influence of Different Complex Learning Environments on Cognitive Processes. *Paper presented at the International Conference on Practical Work.* Copenhagen, May 20-23.
- SÉRÉ M.-G., LEACH J., NIEDDERER H., PSILLOS D., TIBERGHIE A. & VICENTINI M. (1998). Improving Science Education : issues and research on innovative empirical and computer-based approaches to labwork in Europe (Project « Labwork in Science Education » SO E2 CT 95 2001; PL 95 2005) funded by the European Commission under the Targeted Socio-Economic Research Programme (TSER). Final report and Working papers 1 - 10. *CORDIS site of the European Commission* <http://www.cordis.lu/tser/src/ct2001w.htm> or <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/labwork/>.
- THORNTON R.K. & SOKOLOFF D. (1990). Learning motion concepts using real time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics*, vol. 58, n° 9, pp. 858-867.
- THORNTON R.K. (1997). Conceptual dynamics: Following changing student views of force and motion. In E.F. Redish & J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities, Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education.* Woodbury, American Institute of Physics, pp. 241-266.
- TIBERGHIE A. (1997). Learning and teaching : Differentiation and Relation. *Research in Science Education*, vol. 27, n° 3, pp. 359-382.
- TIBERGHIE A., VEILLARD L., LE MARÉCHAL J.F. & BUTY C. (1998) Analysis of labwork sheets used in regular labwork at the upper secondary school and the first years of



- University. Working paper 3 from the European project Labwork in science education (Targeted Socio-Economic Research Programme, Project PL 95-2005), *CORDIS site of the European Commission*, <http://www.cordis.lu/tser/src/ct2001w.htm> et site: <http://sir.univ-lyon2.fr/GRIC-COAST/Labwork/lse.html>.
- VAN HEUVELEN A. (1997). Using interactive simulations to enhance conceptual development and problem solving skills. In E.F. Redish & J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities, Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education*. Woodbury, American Institute of Physics, pp. 1119-1135.
- VON AUFSCHNAITER C., WELZEL M. & HALLER K. (1997). Physikalisches Praktikum - interessant, wichtig, schwierig. In Deutsche Physikalische Gesellschaft, Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.). *Didaktik der Physik : Vorträge-Physikertagung 1997-Berlin*. Bad Honnef: DPG, pp. 724-729.
- VON AUFSCHNAITER S. & Welzel M. (à paraître). Individual Learning Processes - a Research Program with Focus on the Complexity of Situated Cognition. *Proceedings of the 1st. European Conference of ESERA*, Rome.
- WELZEL M., HALLER K., BANDIERA M., HAMMELEV D., KOUMARAS P., NIEDDERER H., PAULSEN A., ROBINAULT K. & VON AUFSCHNAITER S. (1998). Ziele, die Lehrende mit experimentellem Arbeiten in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbindenden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*, vol. 4 , n° 1, pp. 29-44.
- WELZEL M., HALLER K., BANDIERA M., HAMMELEV D., KOUMARAS P., NIEDDERER H., PAULSEN A., BÉCU-ROBINAULT K. & VON AUFSCHNAITER S. (1998). Teachers' objectives for labwork. Research tool and cross country results working paper 6 from the European project labwork in science education, *Targeted Socio-Economic Research Programme, Project PL 95-2005*. <http://www.cordis.lu/tser/src/ct2001w.htm> ou <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/labwork/>.
- ZOLLMAND. (1997). Learning cycle physics. In E.F. Redish & J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities, Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education*. Woodbury, American Institute of Physics, pp. 1137-1149.

# COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

## REPORTS OF INNOVATION

### **L'évaluation pédagogique des enseignements en faculté des sciences appliquées : compte rendu d'innovation**

### **Pedagogical assessment of civil engineering studies : report of innovation**

**Edurne AGUIRRE, Benoît RAUCENT, Piotr SOBIESKI**

Université catholique de Louvain  
Faculté des sciences appliquées  
Place du Levant, 2  
B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

**Pascale WOUTERS**

Université catholique de Louvain  
Institut de pédagogie universitaire et des multimédias  
Grand-Rue, 54  
B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

#### **Résumé**

*L'évaluation pédagogique des enseignements de candidatures en faculté des sciences appliquées (deux premières années de polytechniques) de l'Université catholique de Louvain est réalisée depuis l'année 1991-92. Elle se fait notamment*

*au moyen d'un questionnaire à remplir par les étudiants pour chaque cours et permet d'aider les enseignants à adapter leur dispositif de formation à la perception qu'en ont les étudiants. Cet article illustre cette pratique d'évaluation des enseignements par les étudiants et en souligne les modalités pratiques et les apports pédagogiques.*

**Mots clés :** évaluation des enseignements, questionnaire, évaluation formative, évaluation certificative.

### **Abstract**

*Pedagogical assessment of the courses of the first two years of civil engineering studies at the catholic university of Louvain has been conducted systematically since 91-92. This is done via a questionnaire to be filled in by the students for each course and which helps the teachers to adapt their educational approaches to the students' perception. This paper presents this course assessment method and focuses on practical points and their pedagogical contribution.*

**Key words :** course evaluation, questionnaire, formative assessment, administrative assessment.

### **Resumen**

*La evaluación pedagógica de la enseñanza de los aspirantes a la facultad de ciencias aplicadas (dos primeros años de politécnicos) de la Universidad Católica de Louvain es realizada desde el período 1991-92. Ella se hace por medio de un cuestionario a realizar por los estudiantes para cada curso y permite ayudar a los docentes a adaptar su estrategia de formación a la percepción que tienen los estudiantes. Este artículo ilustra esta práctica de evaluación de los docentes por los estudiantes y resalta las modalidades prácticas y los aportes pedagógicos.*

**Palabras claves :** evaluación de los docentes, cuestionario, evaluación formativa, evaluación certificativa.

## **1. INTRODUCTION**

L'évaluation pédagogique des enseignements est une démarche, parmi d'autres, permettant d'amorcer un dialogue entre enseignants et étudiants. Elle poursuit deux objectifs (Bernard, 1992) :

- d'une part, elle permet d'aider les enseignants à mieux adapter leur dispositif de formation aux difficultés et suggestions mises en relief par les étudiants. Cette évaluation est dite « formative » car elle vise l'enseignant autant dans sa personnalité que dans sa fonction ;

- d'autre part, elle fournit à la faculté un outil critique pour l'aider à gérer

ses programmes d'études. Cette évaluation est dite « à fin administrative » ou « certificative », car elle peut être utilisée lors de prises de décisions telles que le renouvellement de contrats, les promotions, les allocations de ressources etc.

Ces deux objectifs, *a priori* distincts, sont cependant complémentaires : ils répondent à la même volonté d'améliorer l'enseignement : l'évaluation formative via la rétroaction de la perception étudiante de leur enseignement, l'évaluation administrative, à plus long terme, en confirmant le personnel enseignant.

Ces évaluations nécessitent de consulter de nombreuses sources d'informations afin de poser un jugement rigoureux sur le travail pédagogique des enseignants. Ces sources peuvent être la perception qu'ont les étudiants de leur enseignement, les discussions entre enseignants lors des commissions de diplômes, l'analyse des notes de cours et des questions d'examens (exemples : concordance avec les objectifs poursuivis, aspect théorique ou pratique, restitution ou analyse), etc.

La perception des étudiants est actuellement analysée par un contact direct avec les enseignants lors des réunions mensuelles des comités d'année et lors des enquêtes écrites réalisées auprès des étudiants en fin de semestre.

Les comités d'année regroupent les délégués-étudiants, les enseignants, le coordonnateur (enseignant responsable de l'organisation pratique et des réflexions méthodologiques relatives au programme de cours) ainsi que l'assistant facultaire (dont la tâche principale est de promouvoir les activités pédagogiques en candidatures). Ces comités ont pour rôle de susciter l'implication des étudiants dans leur enseignement en leur proposant un lieu de dialogue constructif, de spécifier les exigences ou remarques des diverses parties et de fournir au coordonnateur les outils pour assurer la régulation pédagogique du programme de cours. Les informations transmises sont néanmoins souvent insuffisantes, car trop ponctuelles ou trop tardives (exemple : problèmes logistiques à résoudre en auditoire ou amphithéâtre). De plus, les aspects soulevés ne reflètent parfois l'opinion que d'une minorité d'étudiants, au détriment d'une majorité silencieuse ou non consultée.

Afin d'étendre la représentation étudiante, la faculté réalise, depuis 1992, une enquête écrite en fin de semestre au moyen d'un questionnaire détaillé, à distribuer à tous les étudiants, pour tous les enseignements des deux candidatures (28 cours et projets). Une réflexion menée en 1996 conjointement avec l'Institut de pédagogie universitaire et des multimédias de l'Université catholique de Louvain a permis d'améliorer la rédaction du questionnaire.

## 2. LE QUESTIONNAIRE

### 2.1. Les thèmes abordés

Les questions portent sur de nombreux aspects, que ce soit l'exposé magistral de l'enseignant en auditoire (organisation, contenu, interaction), les supports de cours (contenu, disponibilité, forme), les séances de travaux pratiques ou les séminaires, l'évaluation (modalités, critères de correction, tests formatifs), etc. Un exemple-type de ce questionnaire est fourni en annexe.

### 2.2. La formulation des énoncés

Afin d'assurer la validité des questions l'énoncé doit être clair et sans équivoque, affirmatif, descriptif et impersonnel. Il faut s'assurer que l'énoncé évoque bien ce qu'il est censé mesurer. Par exemple, il existe souvent une confusion entre le fond des supports de cours (contenu théorique et pratique) et leur forme (lisibilité, structure, typographie). De même, un énoncé contenant une négation est moins compréhensible et l'étudiant risque de ne pas la prendre en compte. Enfin, un énoncé doit éviter les formulations interrogatives trop subjectives (exemple : « *Êtes-vous satisfait des supports de cours ?* ») et privilégier l'affirmation impersonnelle et descriptive (exemple : « *Les supports de cours facilitent les apprentissages.* »)

### 2.3. L'échelle proposée

Le questionnaire comprend une quarantaine de questions, simples et directes. L'échelle à « choix multiple » proposée offre quatre possibilités relatives à l'énoncé : 4 = totalement d'accord, 3 = plutôt en accord, 2 = plutôt en désaccord, 1 = totalement en désaccord. Une seule réponse est admise par question (tableau 1).

Habilités de l'enseignant	4	3	2	1	X
Les exposés sont structurés	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tableau 1 : Exemple de question à choix multiple

Ces quatre niveaux ont été choisis de manière à forcer l'étudiant à prendre position et ainsi éviter les réponses neutres. Une échelle à deux

niveaux manquerait de souplesse et, à l'inverse, avec six ou huit niveaux les nuances seraient trop subtiles.

Le questionnaire étant unique quels que soient les cours, un champ particulier (X) a été rajouté afin de préciser si la question ne s'applique pas à ce cours.

Cette échelle doit permettre d'obtenir des réponses les plus objectives possibles, même si une certaine subjectivité est inévitable de la part des étudiants ; en effet ce qui est «excellent» pour l'un pourrait seulement être «bon» pour un autre. Cette subjectivité incite à un surcroît de prudence lors de l'interprétation et de l'utilisation des résultats.

## 2.4. Les questions ouvertes

Plusieurs questions « ouvertes », à réponse libre, invitent les étudiants à exprimer des commentaires plus nuancés, des suggestions pour améliorer le cours ou des critiques relatives à des points non abordés dans le questionnaire (exemples : « *Quelles sont les qualités principales de l'enseignant ?* », « *L'enseignant devrait s'améliorer sur les points suivants :* »).

Ces questions ouvertes ôtent au questionnaire son aspect impersonnel, tant pour l'étudiant qui peut s'exprimer librement que pour l'enseignant qui y découvre des renseignements plus précis et plus explicites (exemples : « *le point 5.3 est incompréhensible* », « *Merci pour le test* »).

Le risque existe cependant de recueillir certaines réponses farfelues (exemple : « *le prof devrait changer de cravate* »), voire incohérentes, qui discréditent ce type d'informations et, pour certains enseignants, le principe même de l'enquête pédagogique.

## 2.5. Format du questionnaire

Le format des questionnaires (la sélection des questions posées et la disposition typographique) est uniformisé afin que les étudiants répondent à un seul type de questionnaire quel que soit l'enseignant. L'enseignant a cependant la possibilité de rajouter certaines questions (exemples : évaluation des travaux personnels à réaliser à domicile, prérequis des étudiants sur une partie de la matière, évaluation des expériences pédagogiques relatives à des auto-apprentissages) ou des annotations (exemples : nom des assistants, thème des projets).

L'idée de base n'est pas de comparer les cours mais de disposer d'un instrument d'évaluation adapté aux caractéristiques d'un maximum d'entre eux. Cette homogénéisation du questionnaire permet d'avoir une vue globale de l'appréciation de l'enseignement par les étudiants.

### **3. LES MODALITÉS DE L'ENQUÊTE**

L'organisation de l'enquête est confiée à l'assistant facultaire, qui promeut les activités pédagogiques en candidatures. Sa tâche est de personnaliser les questionnaires, de choisir avec l'enseignant la date de l'enquête, de distribuer et récupérer les questionnaires, de les dépouiller et d'en fournir une synthèse constructive. Cette concentration des tâches permet d'assurer l'homogénéité des diverses enquêtes (exemples : moment, temps imparti, présentation par l'enseignant, etc.)

Quelques modalités pratiques et leur répercussion sur l'interprétation des résultats peuvent être soulignées.

#### **3.1. Avant l'examen**

L'enquête est réalisée délibérément avant l'examen, pendant l'un des derniers cours, afin d'obtenir une évaluation « à chaud ». Néanmoins, certains étudiants, n'ayant pas encore approfondi leur étude, n'ont pas le recul suffisant pour saisir toutes les implications de l'enseignement qu'ils ont reçu.

Une enquête après l'examen pourrait être envisagée afin de toucher des étudiants plus « matures » et d'obtenir des renseignements sur l'évaluation (exemples : correspondance avec les objectifs annoncés, modalités pratiques). Cependant, on peut entrevoir les difficultés suivantes : l'impression estompée par le temps, un éventuel esprit de « revanche » des étudiants en échec ou la difficulté de contacter des étudiants ayant doublé ou changé d'orientation.

Une évaluation à mi-parcours, plus « formative » pour l'enseignant, pourrait également être réalisée. Des facteurs qui biaiseraient cette pratique seraient la non remise à jour de leur cours par les étudiants en situation de « décrochage », leurs difficultés d'adaptation ou l'absentéisme parfois important.

### 3.2. Présentation

L'assistant introduit l'enquête auprès des étudiants en insistant sur les modalités pratiques, l'intérêt pédagogique tant pour l'enseignant que pour les étudiants futurs, l'objectivité souhaitée, etc.

S'il le souhaite, l'enseignant présente son intérêt personnel pour cette enquête en tant qu'outil pédagogique, encourageant les commentaires et les suggestions (exemples : il promet de lire les réponses, présente les améliorations réalisées sur la base des enquêtes précédentes).

La motivation des étudiants est fortement influencée par le temps relativement court réservé au remplissage du questionnaire (environ 15 minutes pour 40 questions) et par la présentation par l'enseignant de son intérêt personnel. Si l'enquête est bien introduite, le risque est diminué de voir l'avis de ceux « qui prennent le temps d'écrire » écraser l'avis, peut-être différent, de la majorité silencieuse.

Des distributions croisées avec d'autres cours sont réalisées afin d'atteindre un maximum d'étudiants et cerner les éventuelles raisons de leurs absences.

### 3.3. Représentativité

En moyenne 60 à 70 % des étudiants répondent au questionnaire (180 sur 300). Les autres sont soit absents soit trop peu motivés pour répondre, sans doute parce qu'ils ne perçoivent pas l'implication immédiate ou se considèrent comme non représentatifs. Si ce quota de 60 % n'est pas atteint, il faut redoubler de prudence lors de l'interprétation des résultats.

Ce problème de représentativité peut introduire un biais dans l'enquête. Si l'absentéisme provient d'une « insatisfaction » par rapport au cours et non d'un « décrochage » pour raisons personnelles, les résultats présentés pourraient être « trop optimistes » : les étudiants ayant répondu étant en moyenne plus satisfaits ou plus impliqués que la population étudiante globale.

Un complément d'informations devrait être recherché afin de cerner les éventuelles raisons des absences, qu'elles soient dues à un « décrochage », une démotivation, ... ou à l'excellente adaptation des étudiants aux supports de cours de qualité et au travail autonome.

La représentativité du public pourrait être estimée à l'aide de paramètres tels la part des étudiants redoublants, la fréquentation du cours, le temps de travail personnel hors cours magistral, etc. Ces informations permettraient



de relativiser les réponses de chacun, mais sont délicates à utiliser car elles sont représentatives d'un nombre élevé de situations d'apprentissage différentes.

## 4. LE DÉPOUILLEMENT DES ENQUÊTES

Afin que l'évaluation suscite une amélioration effective des enseignements, le compte rendu du dépouillement doit être soigné, voire attrayant, et constructif.

Les réponses aux questions à choix multiple, comptabilisées au moyen d'un lecteur optique, sont présentées à l'aide d'histogrammes (tableau 2). Chaque histogramme est résumé par la moyenne pondérée des réponses (« Moy »). Elle va de zéro (100 % des étudiants totalement en désaccord avec l'énoncé) à trois (100 % des étudiants totalement d'accord avec l'énoncé).

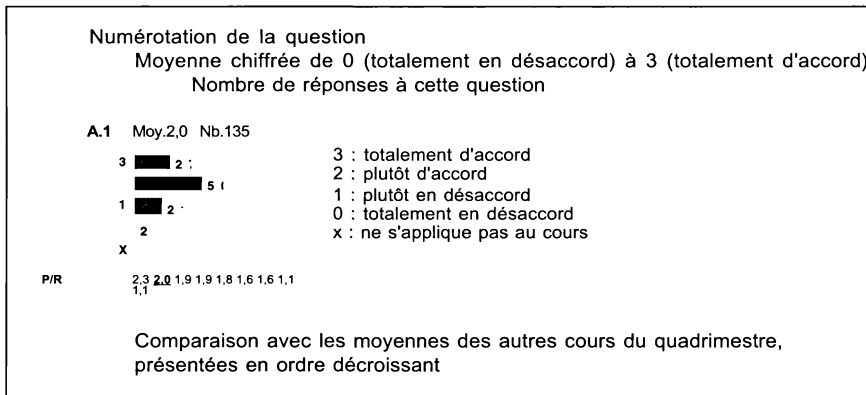


Tableau 2 : Informations fournies dans un histogramme

Une moyenne de 2.0 signifie que 66 % des étudiants contactés sont d'accord avec l'énoncé. L'interprétation peut utiliser le guide suivant : au-delà de 2.5, les étudiants considèrent la situation comme excellente, entre 2.0 et 2.5, les étudiants considèrent la situation comme satisfaisante ; entre 1.0 et 2.0, ils souhaiteraient une amélioration de la situation et entre 0.0 et 1.0, ils considèrent la situation comme alarmante.

Ces moyennes peuvent être comparées aux moyennes des autres cours afin d'en faciliter l'interprétation.

En plus de la moyenne, l'importance relative des pourcentages de « totalement d'accord » ou de « totalement en désaccord » constitue une indication utile.

Les réponses aux questions ouvertes sont retranscrites intégralement dans un document à destination de l'enseignant. Seule une compilation des remarques les plus fréquentes ou les plus pertinentes est reprise dans le document de synthèse (voir tableau 3).

Synthèse des commentaires des étudiants aux questions ouvertes.  
 La liberté d'action des étudiants (choix du sujet, créativité, initiative, etc.) est très bien perçue.  
 Il faudrait accroître l'aspect mécanique et pratique et réduire l'aspect numérique (programmation).  
 Il faudrait améliorer le support logistique (notes, encadrement didactique).

Tableau 3 : Exemple de compilation de commentaires aux questions ouvertes

## 5. ANALYSE DES RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE

Chaque enseignant reçoit les résultats complets de l'enquête concernant son enseignement. Une synthèse des diverses enquêtes est analysée en comité d'année afin de dégager des pistes de réflexion et susciter des actions efficaces pour améliorer l'enseignement. Cette diffusion permet de poursuivre l'objectif « formatif », en prolongeant la réflexion entre étudiants et enseignants, et l'objectif « administratif » en analysant le programme de cours dans son ensemble.

Ce « grand déballage public » n'est cependant pas toujours apprécié de certains qui le voient comme purement démagogique et non comme une amorce de dialogue pédagogique.

### 5.1. Synthèse sous forme d'histogrammes

Une synthèse des résultats obtenus par chaque enseignant pour chacune des 40 questions est réalisée sous forme d'histogrammes (tableau 4). Ces 40 histogrammes permettent de déceler les cours présentant un écart important (positif ou négatif) par rapport à la moyenne de 2.0 et les malaises « généralisés » lorsque la plupart des cours ont une moyenne inférieure à 2.0.

L'intitulé des cours n'apparaît pas sur ces graphes afin d'éviter des comparaisons abusives, mais il est repris dans un document à destination des autorités.

Il faut être très prudent lors de cette analyse et tenir compte de la spécificité de chaque cours ou d'informations complémentaires telles une expérience pédagogique innovante mais déstabilisante pour l'étudiant, une enquête réalisée lors d'un cours particulièrement ardu, etc.

E.1. Appréciation générale : de façon générale, j'ai apprécié l'enseignement de ce professeur

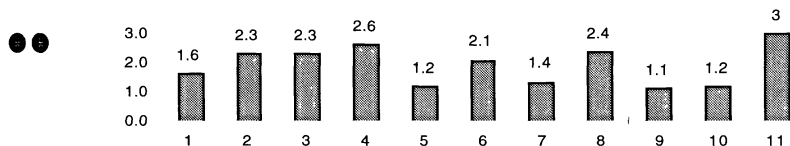


Tableau 4 : **Exemple d'histogramme récapitulatif pour une question donnée (cours numérotés de 1 à 11)**

## 5.2. Synthèses des réponses ouvertes

Les commentaires les plus fréquents portent sur la clarté de l'exposé oral, l'importance des illustrations, la gestion du temps en fonction de la difficulté de la matière, etc. Les qualités reconnues des enseignants sont «l'approche intuitive» et l'esprit de synthèse, qui s'associent à un très bon contact avec les étudiants. Les supports de cours sont jugés quant à leur structure (exemples : table des matières, typographie, bibliographie) et leur clarté (exemples : formalisme mathématique ou explications littéraires), etc. Nombreux sont les commentaires positifs.

## 5.3. La rétroaction des enseignants

Cette enquête ne reflète que l'avis des étudiants, qui n'est pas forcément celui des enseignants ou de la faculté. Une insatisfaction étudiante soulève toujours une question, mais n'est pas pour autant une condamnation. En effet, un enseignement de qualité nécessite, de la part des étudiants, un effort qui peut fausser les résultats de l'enquête. En effet, ce qui est bon au niveau méthodologique n'est pas toujours perçu comme tel. Cette distinction doit être clairement formulée par chaque enseignant qui est invité à fournir à ses étudiants une rétroaction constructive.

De nombreux exemples illustrent de telles discordances. Citons entre autres :

– un syllabus, relié dans l'espoir que les étudiants le conservent, est mal perçu car son annotation pendant le cours est difficile ;

– un enseignant ayant introduit une innovation pédagogique au travers d'un processus d'auto-apprentissage exigeant un grand investissement des étudiants et une grande interaction avec l'auditoire a été jugé « *moins maître de sa matière qu'auparavant* » ;

– la personnalité de l'enseignant influence les étudiants. Ainsi, un enseignant charismatique mais peu compétent pourrait être jugé excellent, alors qu'un enseignant soucieux de la rigueur scientifique ou qui refuse une certaine facilité pourrait être mal perçu.

## 6. CONCLUSIONS

Au terme de ces six années, nous pouvons considérer ces évaluations comme une réussite au niveau de l'organisation et du sérieux dans l'interprétation et l'utilisation des résultats.

La mise au point d'un questionnaire détaillé a permis d'affiner l'évaluation formative. Les questions étant précises et nombreuses, les enseignants reçoivent de la part des étudiants une réelle vue d'ensemble des diverses facettes de leur enseignement. Des problèmes spécifiques à un cours peuvent être soulevés et des malaises relatifs à plusieurs cours peuvent ressortir de la synthèse comparative.

Les étudiants accueillent favorablement cette enquête. Ils sont d'autant plus motivés que l'enseignant leur présente son intérêt personnel et qu'ils perçoivent les améliorations correspondantes. Dans le cas contraire, ils jugent l'enquête inutile et ne s'y investissent pas.

Les enseignants sont soucieux d'obtenir un réel « feedback » de la part des étudiants. Ils tiennent volontiers compte des remarques émises, dans la mesure où elles sont réalistes et constructives. Certains enseignants sont évidemment plus réticents que d'autres à utiliser cet outil ou s'inquiètent des retombées administratives. Leur crainte ne peut être levée qu'en s'assurant au mieux de la représentativité de cette enquête et en gardant une vue critique sur les informations recueillies.

Nous considérons cette enquête pédagogique comme un outil d'évaluation précieux. Pour être pleinement efficace, elle doit être prolongée par un dialogue constructif entre étudiants et enseignants et être associée à d'autres sources d'informations afin de couvrir au mieux le champ des capacités pédagogiques de l'enseignant.

## BIBLIOGRAPHIE

BERNARD H. (1992). *Processus d'évaluation de l'enseignement supérieur. Théorie et pratique*. Laval, Éditions Études Vivantes.

## ANNEXE

Questionnaire utilisé à l'université catholique de Louvain depuis l'année académique 1996-97.

<b>Faculté des Sciences Appliquées</b>	
--	--

Année d'étude  FSA 12.1  FSA 12.2  FSA 12.3  FSA 12.4  ARCH 12

J'ai suivi ce cours en 1996-1997 pour la  première fois  deuxième fois (bisseur)

Ma fréquentation aux cours a été d'environ

0 %  10 %  20 %  30 %  40 %  50 %  60 %  70 %  80 %  90 %  100 %

Ma fréquentation aux TP a été d'environ

0 %  10 %  20 %  30 %  40 %  50 %  60 %  70 %  80 %  90 %  100 %

Consigne : Répondez individuellement et de manière anonyme à chacun des énoncés suivants en utilisant l'échelle ci-dessous :

si vous êtes <b>totalem</b> ent d'accord avec l'énoncé	cochez la case 4 au moyen d'une croix ✕
si vous êtes <b>plutôt en accord</b> avec l'énoncé	cochez la case 3
si vous êtes <b>plutôt en désaccord</b> avec l'énoncé	cochez la case 2
si vous êtes <b>totalem</b> ent en désaccord avec l'énoncé	cochez la case 1
si l'énoncé ne s'applique pas à ce cours	cochez la case X

### Évaluation d'un cours

#### Organisation du cours

**4 3 2 1 X**

1. Le " plan du cours " (càd les objectifs, méthodes, modalités d'évaluation, bibliographie) a été présenté clairement
2. Les objectifs du cours ont été présentés clairement au début du cours
3. Les documents audiovisuels facilitent les apprentissages

4. Les exercices donnés au cours permettent de mieux comprendre la matière	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5. La progression dans les contenus est adéquate	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6. Les contenus abordés sont utiles pour la formation de l'étudiant	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>Dynamisme et intérêt pour l'enseignement</b>	<b>4 3 2 1 X</b>
1. L'enseignant manifeste de l'intérêt pour son enseignement	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2. L'enseignant suscite l'intérêt des étudiants	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3. L'enseignant est dynamique dans son enseignement	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>Interactions enseignant-étudiants</b>	<b>4 3 2 1 X</b>
1. Les étudiants sont encouragés à poser des questions, à se poser des questions	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2. L'enseignant est ouvert aux questions des étudiants	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>Habiletés de l'enseignant</b>	<b>4 3 2 1 X</b>
1. Les exposés sont structurés	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2. L'utilisation d'exemples est fréquente	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3. Des liens sont établis entre théorie et pratique	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4. Des liens sont établis avec d'autres cours	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5. L'enseignant maîtrise la matière qu'il enseigne	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>Support de cours</b>	<b>4 3 2 1 X</b>
1. Le contenu des notes de cours est adéquat	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2. Les notes de cours sont disponibles à temps	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3. La forme (lisibilité, structure) des notes de cours est satisfaisante	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>L'évaluation</b>	<b>4 3 2 1 X</b>

- |   |                          |                          |                          |                          |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Les modalités de l'examen ont été clairement présentées aux étudiants      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Les questions correspondent à des aspects importants traités dans ce cours | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Les critères de correction sont énoncés de manière précise                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Les tests en cours d'année apportent des informations utiles à l'étudiant  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Appréciation générale**

**4 3 2 1 X**

- |   |                          |                          |                          |                          |                          |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. De façon générale, j'ai apprécié l'enseignement de ce professeur | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

<p>Quelles sont les qualités principales de l'enseignant :</p>          <p>L'enseignant devrait s'améliorer sur les points suivants :</p>          
---

<p><b>Évaluation des TP (... exercices pratiques, laboratoires, monitorat ...)</b></p>
--

Indiquer le nom de votre assistant .....

**Organisation du TP**

**4 3 2 1 X**

- |  |                          |                          |                          |                          |                          |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Les objectifs des TP ont été présentés clairement                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. La coordination entre cours théorique et TP est apparente                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Les séances de TP permettent de mieux comprendre la matière               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Les exercices permettent d'acquérir des connaissances/attitudes nouvelles | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

5. Les consignes sont suffisamment claires pour permettre l'exécution des TP

6. Les activités organisées dans les TP sont pertinentes

**Interactions enseignant-étudiants** **4 3 2 1 X**

1. Les étudiants sont encouragés à poser des questions, à se poser des questions

2. L'enseignant aide l'étudiant à surmonter ses difficultés

3. L'enseignant manifeste une attitude positive envers les étudiants

4. Les commentaires de l'enseignant sur le travail fourni sont constructifs

**Habilités de l'enseignant** **4 3 2 1 X**

1. Les explications de l'enseignant sont claires


2. L'enseignant du TP maîtrise les contenus

**Appréciation générale** **4 3 2 1 X**

1. De façon générale, j'ai apprécié ce TP

**Notez vos suggestions pour améliorer ces TP**





**Évaluation d'un dispositif  
didactique utilisant une approche  
conceptuelle en écologie,  
l'apprentissage par résolution  
de problèmes et le débat socio-  
cognitif à l'université :  
compte rendu d'innovation**

**Appraisal of a university teaching  
device which deals with a concept of  
ecology, the problems based learning  
and the socio-cognitive debate :  
report of innovation**

**Christian REYNAUD, Daniel FAVRE**

Laboratoire de Modélisation de la Relation Pédagogique  
(Équipe ERES), C.C. 089  
Université Montpellier II  
Place Eugène Bataillon  
34095 Montpellier cedex 5.

## **Résumé**

*Un dispositif didactique innovant centré sur l'appropriation du concept d'écosystèmes paraliques a été testé auprès d'étudiants à l'université. Nous présentons les résultats obtenus avec quatre groupes expérimentaux et un groupe de référence, ainsi qu'un rappel des principes ayant présidé à l'élaboration du dispositif, en particulier l'intérêt d'introduire une phase de "débat" socio-cognitif.*

**Mots clés :** *dispositif didactique, situation-problème, débat socio-cognitif.*

## **Abstract**

*A teaching device which aims at the learning of the paralic ecosystems concept has been tested with university students. We present results obtained with four experimental groups and a reference one. Principles which had directed the elaboration of the device, and in particular the introduction of a phase of socio-cognitive "debate", are analysed.*

**Key Words :** *teaching device, problems-situations, socio-cognitive debate.*

## **Resumen**

*Un plan didáctico innovador centrado en la apropiación del concepto de ecosistemas parálidos ha sido probado con estudiantes universitarios. Nosotros presentamos los resultados obtenidos con cuatro grupos experimentales y un grupo de referencia, así como el análisis de los principios que habían precedidos a la elaboración del plan, en particular la introducción de una fase de "debate socio-cognitivo".*

**Palabras claves :** *plan didáctico, situación problema, debate socio-cognitivo.*

## **1. INTRODUCTION**

Ce travail s'insère dans une recherche sur les conditions de construction et de diffusion d'un concept scientifique – celui d'écosystèmes paraliques – qui a été développé depuis 1983 dans le champ de l'écologie des milieux littoraux (Guelorget & Perthuisot, 1983). Pour compléter l'analyse épistémologique de son développement, sa diffusion a été étudiée auprès d'un public utilisateur du concept : les élus locaux responsables de l'aménagement des étangs de la région Languedoc-Roussillon (Reynaud et al., 1996a), et dans divers contextes tels que celui des colloques spécialisés en écologie marine (Reynaud et al., 1996b). D'éventuels obstacles ou limites à sa communication ont ainsi pu être mis en évidence. De plus, les conditions dans lesquelles un concept scientifique est communiqué ont été précisées grâce à une étude des représentations de la science chez les vulgarisateurs scientifiques (Reynaud, 1997).

Parallèlement, une collaboration étroite avec les chercheurs ayant développé ce nouveau champ théorique nous a permis de formaliser un modèle didactique du concept tenant compte des difficultés qui pourraient s'opposer à son appropriation. Les informations recueillies auprès des divers publics nous ont guidés pour construire une présentation du concept en organisant ses caractéristiques formelles et en faisant référence aux problèmes, issus de rapports d'expertise, qu'il permet de résoudre (Reynaud et al., 1995). Ces travaux ont ainsi permis d'identifier progressivement des conditions susceptibles de favoriser l'enseignement du concept.

À ce stade, il est devenu possible de construire un dispositif didactique expérimental intégrant les différents éléments de la formalisation du concept dans une démarche prenant en compte des propositions issues de recherches en didactique telles que l'apprentissage par résolution de problèmes et la mise en place de phases de « débats socio-cognitifs » (Reynaud & Favre, 1997). Dans une dernière étape, il nous restait à évaluer qualitativement et quantitativement l'efficacité de cette approche auprès des étudiants de notre université puisque les connaissances relevant du champ conceptuel des écosystèmes paraliques sont enseignées en écologie marine au niveau bac + 3.

## 2. CADRE THÉORIQUE DE RÉFÉRENCE ET CHOIX DIDACTIQUES

Les références théoriques qui ont guidé l'élaboration du dispositif peuvent être présentées sous la forme de quatre « principes ».

Le premier principe, qui s'est imposé à partir des recherches en didactique des sciences (Giordan & De Vecchi, 1987 ; Astolfi & Develay, 1989 ; De Vecchi & Giordan, 1989), pourrait s'exprimer ainsi : **rechercher, identifier les notions conceptuelles dont on vise l'acquisition pour un public donné** ; il s'agit de reconnaître les outils théoriques qui permettent d'appréhender une classe de problèmes donnée. L'approche conceptuelle conduit non seulement à une définition des concepts, mais elle implique aussi d'élargir l'analyse à un ensemble d'éléments connexes. Ainsi, plusieurs cadres théoriques ont été proposés pour identifier une « *aura conceptuelle* » (De Vecchi & Giordan, 1989), des « *trames conceptuelles* » (Astolfi & Develay, 1989) ou un « *champ conceptuel* » (Vergnaud, 1990). Toutefois, en dehors de ces analyses théoriques, la formalisation d'un concept peut viser des objectifs plus pragmatiques pour constituer un support de communication.

Le deuxième principe, dans cette optique, s'inspire de l'approche de Barth (1987, 1993). Cet auteur propose en effet un « *modèle opérationnel du concept* » qui consiste à le concevoir comme une association d'attributs. Le principe issu de cette approche consisterait alors à **définir le concept choisi**, éventuellement avec le concours des chercheurs spécialisés, **pour en dégager les attributs essentiels** et non essentiels. La formalisation ainsi obtenue correspond à la formulation plus ou moins explicite des caractéristiques fondamentales du concept : ses attributs (les six attributs identifiés pour le concept d'écosystème paralique sont rappelés dans le paragraphe suivant). Ce principe pourrait aussi être rapproché de la théorie des champs conceptuels (Vergnaud, 1990). La recherche des caractéristiques correspondant aux attributs du concept représenterait en effet la mise en évidence de différentes procédures élémentaires : des « *invariants opératoires* ». Ces procédures organisent la recherche de l'information pertinente, parmi les données issues d'une situation, en fonction d'un problème à résoudre.

Le troisième principe consiste à mettre en œuvre des situations-problèmes. Si l'objectif de l'enseignement est *in fine* d'acquérir une capacité à réinvestir des connaissances dans la résolution de **problèmes non routiniers**, alors la démarche suivie par un expert dans une situation réelle peut servir de modèle à l'élaboration de telles situations-problèmes. Cette démarche peut en effet être schématisée en montrant comment le concept permet à l'expert de poser des hypothèses, de rechercher les informations pertinentes et de proposer une réponse à la question de son commanditaire. À partir de ce schéma, un problème peut être formulé en reprenant la question posée à l'expert sous une forme simplifiée et en synthétisant l'ensemble des données qu'il a récolté sur le terrain (Reynaud & Favre, 1997). Notre tâche a donc consisté à **adapter et proposer des situations-problèmes dont la résolution nécessite l'utilisation du concept à travers ses attributs**.

Un apprenant placé devant un tel problème doit être prêt à admettre, le cas échéant, le caractère erroné ou inopérant de ses conceptions pour le résoudre. Pour cela, il doit disposer d'une alternative conceptuellement satisfaisante pour abandonner sans trop de regret son système d'explication antérieur. En effet, la déstabilisation cognitive que vise une telle démarche semble être un phénomène difficile à accepter du point de vue affectif (Favre, 1993a, 1993b ; Reynaud et al., 1996a). Le retour rapide à une conception stabilisée semble être nécessaire pour revenir à un sentiment de sécurité fondé sur la « solidité » d'une connaissance. L'application de ces trois premiers principes ne débouche donc pas obligatoirement sur un dispositif permettant aux participants de remettre en cause leurs conceptions. Ils peuvent en effet conserver, de manière dissociée, leurs conceptions et un

système explicatif conforme aux attentes de l'enseignant (le modèle de l'enseignant). Comment favoriser la séparation des conceptions antérieures au profit de l'intégration du concept proposé par l'enseignant ?

Le quatrième principe intègre la dimension sociale de la construction des connaissances. Il s'agit de **créer des séquences de débat susceptibles d'engendrer des conflits cognitifs inter-sujeectifs** à l'aide de nouvelles situations-problèmes. La dynamique de ces séquences de **débat socio-cognitif** s'appuie sur des motivations extrinsèques et intrinsèques qui favorisent une véritable appropriation des concepts (Favre & Favre, 1993, 1996). Le recours aux trois règles énoncées lors du débat – postulat de cohérence de la pensée, principe d'exposition publique des différents avis et exigence de reformulation des avis opposés (Favre & Verseils, 1997 ; Reynaud & Favre, 1997) – met en effet l'accent sur la reconnaissance des individus à travers la mise en valeur de leurs opinions. Cette reconnaissance procurerait ainsi aux étudiants une source de motivation extrinsèque basée sur la satisfaction d'un besoin essentiel : le sentiment d'être reconnu dans sa manière d'exister et de penser. Une seconde source de plaisir peut alors prendre le relais : la satisfaction que procurent les conduites par lesquelles l'individu résout des problèmes inhabituels et/ou fait preuve de créativité et dont la source serait un gain d'autonomie (motivation intrinsèque). Le débat socio-cognitif, introduit autour d'une démarche de résolution de problèmes, semble ainsi jouer un rôle déterminant : il permettrait aux étudiants de prendre conscience des différents points de vue possibles et de les accepter comme des hypothèses provisoires. En effet, ces points de vue étant élaborés par des pairs, ils ne sont pas affectés du poids de l'autorité de l'enseignant (porteur de savoir). Ainsi, l'erreur semble bien acceptée par ceux qui formulent une réponse « fautive » dans la mesure où la « vérité » dont l'enseignant est porteur peut être mise à distance. Si la formulation d'une réponse ne pouvait pas être remise en cause, le sentiment d'être reconnu comme individu serait la seule source de motivation possible (motivation extrinsèque). Ainsi, chacun défendrait son point de vue avec l'objectif de l'imposer aux autres et donc d'être reconnu. Ce changement d'attitude face à l'erreur nous semble donc jouer un rôle important pour favoriser le changement de conception (Favre, 1995 ; Reynaud & Favre, 1994). Sans ce changement, le passage d'un type de motivation à l'autre (extrinsèque puis intrinsèque) pourrait en effet être inhibé et la dimension sociale du débat n'aurait pas l'effet souhaité sur le plan cognitif.

Le débat proposé crée donc un espace dans lequel la discussion apparaît relativement ouverte, où la rationalité de l'argumentation peut aussi bien emprunter des justifications à la vie quotidienne qu'aux connaissances élaborées dans le cadre scientifique. Toutefois, les références aux controverses « scientifiques » utilisées par l'animateur du débat et

l'environnement dans lequel il se déroule (la classe) pourraient jouer un rôle important pour orienter les discussions vers des sujets appartenant au champ des connaissances visées.

### **3. DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL**

Les recherches en didactique semblent montrer la nécessité de varier les modes d'activité des apprenants dans des démarches d'enseignement cohérentes (Astolfi & Peterfalvi, 1993 ; Johsua & Dupin, 1993). À notre tour, en élaborant un dispositif didactique innovant, centré sur l'apprentissage d'un concept, intégrant des situations-problèmes et des phases de discussion (« débat socio-cognitif ») pour des étudiants de l'Université, nous avons tenté de proposer une alternative aux enseignements traditionnels (Reynaud & Favre, 1997).

#### **3.1. Plan de la séquence d'enseignement**

Le dispositif peut être rapidement décrit à partir des sept phases qui le compose :

- 1) une première situation-problème – consistant à rechercher un site de prélèvement d'eau dans la lagune de Guemsah afin d'alimenter une ferme d'élevage de poissons – permet aux participants de faire fonctionner individuellement leurs connaissances sur les écosystèmes qui vont être étudiés ;
- 2) un exposé présente sept exemples et un contre-exemple de ces écosystèmes ;
- 3) les participants sont invités à énoncer les caractéristiques communes des écosystèmes qu'ils viennent de rencontrer ;
- 4) un deuxième exposé consiste à commenter les attributs du concept qui sont présentés dans une formalisation schématique. Six attributs essentiels sont alors identifiés : milieu aquatique, milieu en communication avec la mer, réceptacle physiquement contrôlé, écosystème à forte production biologique, écosystème structuré et organisé sur le modèle du confinement, milieu en dynamique continue ;
- 5) la situation-problème de départ (« Guemsah ») est reprise et « corrigée » en montrant comment la formalisation du concept permet d'explorer le problème et de proposer une réponse ;
- 6) une phase de débat entre les participants est développée à partir d'une nouvelle situation-problème ;

– 7) deux situations-problèmes sont enfin proposées, permettant de réinvestir les connaissances acquises dans des contextes différents de ceux déjà abordés : rechercher le meilleur emplacement pour installer des tables d'élevage d'huîtres dans la lagune de Karavasta et proposer un site d'installation d'une ferme d'élevage de poissons dans la baie de Monastir.

L'objectif de l'enseignement scientifique ne peut pas, selon nous, se réduire à des acquis factuels mais doit viser l'acquisition et la maîtrise de concepts (Favre & Rancoule, 1993 ; Favre & Verseils, 1997). Cet objectif s'exprimerait alors dans le développement d'une capacité à résoudre des problèmes qui peuvent se poser en dehors d'une situation d'enseignement et pour lesquels la solution ne peut pas être obtenue par la simple application d'un algorithme de résolution (ce que nous avons appelé les « problèmes non routiniers »). Avec l'évaluation des réponses d'étudiants à trois types de situations-problèmes (situations de Guemsah, Karavasta et Monastir), il s'agit moins de chercher à mesurer ce que retient ou même comprend un apprenant au terme d'une séquence, que de fournir un éclairage sur les conditions favorisant l'acquisition d'une capacité de transfert des connaissances vers de nouvelles situations.

### **3.2. Les groupes d'étudiants**

Une évaluation de la « capacité à réinvestir des connaissances dans des situations-problèmes » a été menée auprès de 128 étudiants de l'université Montpellier 2 de niveau bac+3 scientifique, répartis en 5 groupes (de 20 à 30 étudiants). Le choix de ces filières nous a dispensés d'une part d'approfondir des notions fondamentales telles que celle de « productivité biologique », d'autre part d'envisager une formation préalable aux pratiques de récolte et de reconnaissance d'espèces, acquis qui pourraient s'avérer indispensables à la compréhension de certains aspects du concept. L'évaluation des effets obtenus avec le dispositif s'appuie sur la comparaison des résultats de 4 groupes d'étudiants ayant participé à une séquence « expérimentale » de 2 à 3 heures, avec ceux d'un groupe ayant suivi un enseignement « traditionnel » de 12 heures de cours magistraux (6 séances de 2 heures) sur les écosystèmes paraliques (échantillon G0). Pour ce dernier groupe, le contenu de l'enseignement avait consisté à aborder des exemples d'écosystèmes paraliques (un exemple pour chacune des 5 premières séances) à propos desquels l'enseignant présentait toutes les études menées (salinité, courantologie, peuplements, etc.) Lors d'une dernière séance, l'enseignant avait proposé aux étudiants de s'exercer sur la situation-problème de Guemsah et leur avait ensuite présenté la formalisation du concept sous forme d'un exposé magistral. En fin de séance les étudiants avaient aussi travaillé sur les situations de Karavasta et Monastir. Cet échantillon nous a servi de population de référence.

Il ne s'agit donc pas d'un véritable groupe témoin composé d'individus n'ayant aucune connaissance sur les écosystèmes littoraux. Pour cela il aurait fallu une population n'ayant aucune connaissance pratique ou théorique des milieux paraliques. Or chacun a un système explicatif plus ou moins élaboré pour répondre aux situations-problèmes. Ainsi, lors d'un débat, un étudiant a invoqué son expérience de pêcheur pour justifier son choix d'un site d'installation pour une ferme aquacole. Il assurait qu'il savait de manière empirique que la probabilité d'attraper des poissons était maximum à un endroit particulier et que c'était donc certainement à cet endroit que les poissons devaient être élevés.

Le dispositif expérimental a ensuite été proposé à quatre groupes d'étudiants en licence de l'université. La répartition des étudiants dans chaque groupe correspond à des choix d'options différentes et donc à des cursus d'enseignement légèrement distincts et à des contacts avec des enseignants différents.

Avec ces groupes, des perfectionnements – essentiellement une augmentation du temps d'expression des participants au détriment de la durée des exposés – ont été apportés au dispositif. Ainsi, pour le premier groupe (G1), le temps de recherche des attributs (étape n° 3 du dispositif) avait été limité à 15 minutes (5 mn de réflexion individuelle et 10 mn de mise en commun). Pour le dernier groupe (GF) la durée de réflexion individuelle est portée à 10 minutes (avec beaucoup moins de rigueur sur l'aspect « individuel » car les étudiants sont autorisés à discuter avec leurs voisins) et la mise en commun se termine avec l'accord des participants (l'ensemble du groupe doit être d'accord sur une liste d'attributs, même si certaines formulations sont identifiées comme contestables).

La phase de débat socio-cognitif n'a été introduite qu'à partir du groupe G2 (pour une durée de 20 minutes). En effet, après l'expérimentation avec le groupe G1, il nous a semblé indispensable de permettre aux étudiants de s'impliquer socialement dans la résolution d'un problème. L'objectif consistant à atteindre la validation collective d'une solution nous a alors conduits à augmenter le temps consacré à cette activité avec les autres groupes. Cet objectif a été atteint avec le dispositif final (Reynaud & Favre, 1997) et le dernier groupe (GF), sur une durée de 1 heure et 15 minutes pour la phase de débat.

## **4. RÉSULTATS DE L'EXPÉRIMENTATION ET DISCUSSION**

L'évaluation prend en compte deux indicateurs : le nombre de réponses attendues et le type de justification utilisé.



Les premiers résultats sont exprimés en « pourcentages de participants ayant donné la réponse attendue » c'est-à-dire ayant indiqué un site appartenant à la zone proposée initialement dans les rapports d'expertise. Les réponses données par chaque groupe aux trois situations-problèmes sont indiquées dans le tableau 1 et représentées par la figure 1.

L'ordre de passation des situations-problèmes (Guemsah, Karavasta et Monastir) a été suggéré par une appréciation *a priori* de la difficulté des situations par rapport à un site standard (une lagune typique). Les problèmes étaient estimés par ailleurs équivalents puisqu'il s'agissait, dans chacun des cas, d'aménager un écosystème paralique pour exploiter ses potentialités aquacoles. Ce choix semble être validé par les résultats du groupe de référence (G0). En effet, les étudiants de cet échantillon sont moins nombreux à donner la réponse attendue à la situation de Karavasta qu'à celle de Guemsah et ce nombre est encore plus faible pour la situation de Monastir. Les scores faibles obtenus par les groupes G3 et GF à la première situation-problème sont probablement imputables à la formation antérieure des étudiants qui, comme on l'a dit, par le jeu des options, diffère d'un groupe à l'autre.

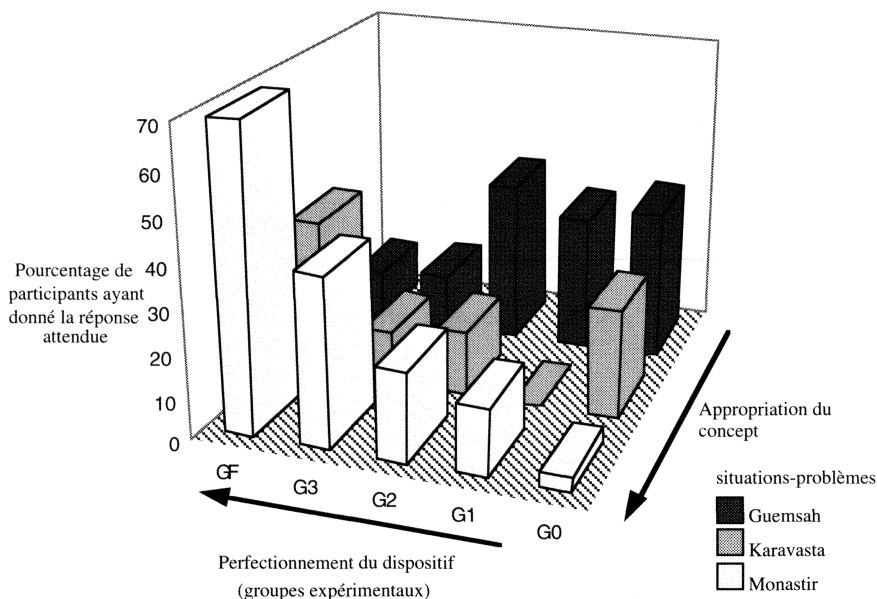


Figure 1 : Pourcentages des réponses attendues (par rapport au nombre total des réponses) en fonction des étapes de la formation et du développement du dispositif

Avec le dispositif, la confrontation des étudiants avec chacune des situations-problèmes constitue, pour eux, une occasion d'appropriation du concept. Sur la figure 1, un axe « appropriation du concept », correspondant à la succession des situations-problèmes au cours de la séance, peut ainsi rendre compte de la démarche d'apprentissage des étudiants. Les cinq groupes d'étudiants sont placés sur l'axe « perfectionnement du dispositif » ; il traduit l'évolution de notre approche à partir du groupe de référence vers le dispositif didactique « final ».

Les résultats obtenus à partir des réponses données aux situations-problèmes montrent une très nette évolution entre le premier et le dernier échantillon (figure 1). Si 25 % des étudiants du groupe de référence (G0) donnent la réponse attendue pour la situation de Karavasta et 3 % pour Monastir, par contre, notre dispositif final (GF) permet à 36 % d'exprimer la réponse attendue à la première situation et 70 % à la dernière. On peut aussi remarquer que les groupes les plus performants (G3 et GF) présentent le taux de réponses attendues le plus faible au départ.

		G0	G1	G2	G3	GF
	Durée de l'enseignement	12 h (6x2h)	2 h	2 h 15 mn	2 h 35 mn	3 h
	Effectif de l'échantillon	29	30	24	22	20
Guemsah	Réponse attendue (%)	35	31	38	13	12
	Autre réponse (%)	65	69	63	87	88
Karavasta	Réponse attendue (%)	25	0	15	13	36
	Autre réponse (%)	75	100	85	88	64
Monastir	Réponse attendue (%)	3	16	21	39	70
	Autre réponse (%)	97	84	79	61	30

Tableau 1 : **Durée de l'enseignement, effectif de chaque échantillon et pourcentages d'étudiants ayant donné la réponse attendue pour chaque situation-problème**

Le type d'évaluation précédent risque de relever d'un effet « Jourdain » (Brousseau, 1986) : l'évaluateur reconnaîtrait l'indice d'une connaissance « savante » dans les réponses des étudiants bien qu'elles soient, peut-être, motivées par d'autres systèmes explicatifs. Nous avons donc tenté d'en minimiser l'importance en demandant aux étudiants d'écrire quelques phrases d'explication sur le choix de leurs réponses. En effet, la mention des attributs du concept permet de penser que les étudiants se sont approprié le concept.

Les commentaires fournis par les étudiants (tableau 2) semblent confirmer les résultats obtenus avec les réponses attendues. L'indicateur

utilisé – citation d'attributs du concept pour justifier la réponse – permet de prendre en compte la capacité des étudiants à restituer leurs connaissances de manière explicite. Dans ce cas l'augmentation de la référence explicite aux attributs pourrait être un témoin spécifique de la « restructuration cognitive » favorisée par le conflit socio-cognitif. Cette restructuration est en effet obtenue massivement, selon nous, lorsque le débat a été mené à son terme (groupe GF).

Situations	Type de résultat	G0	G1	G2	G3	GF
Guemsah	Citation d'attributs	58	27	7	14	40
	Réponse attendue	24	13	4	5	10
	Justification attendue	7	0	0	0	0
Karavasta	Citation d'attributs	7	50	8	32	70
	Réponse attendue	3	0	0	9	35
	Justification attendue	0	0	0	5	5
Monastir	Citation d'attributs	10	13	13	18	55
	Réponse attendue	3	3	8	9	45
	Justification attendue	0	3	0	0	10

Tableau 2 : **Pourcentages de citations explicites d'attributs (par rapport au nombre total des réponses)**

Dans le tableau 2, la ligne « Citation d'attributs » indique la proportion d'étudiants ayant justifié leurs réponses en utilisant un ou plusieurs attributs. La ligne « Réponses attendues » correspond aux étudiants ayant, de plus, donné la réponse attendue. La ligne « Justification attendue » signale les éventuelles réponses attendues ayant recours à une justification utilisant tous les attributs.

Dans l'exemple de réponse à la situation de Karavasta : « *La présence d'espèces caractéristiques d'un milieu confiné dans la lagune fait penser à un écosystème paralique. Il faut donc installer les tables dans la passe.* », l'étudiant cite un attribut du concept (le confinement des écosystèmes paraliques) mais il ne donne pas la réponse attendue. Ce type de réponse a donc été compté dans la catégorie « Citation d'attributs ». Dans cette catégorie, on retrouve aussi les réponses du type : « *On installe les tables d'huître en zone 3* » pour lesquelles l'étudiant fait appel à un attribut du concept (la zonation biologique de l'écosystème) et donne la réponse attendue ; elles sont donc aussi comptabilisées dans la catégorie « Réponse attendue ». De la même manière les réponses de la catégorie « Justification attendue », telles que : « *Un milieu aquatique fermé en communication avec la mer présente des espèces typiques du confinement. Les espèces*

*marines étant plus au large, l'évolution de la lagune se prolonge en mer, c'est donc devant qu'il faut installer les huîtres »* sont aussi comptabilisées dans les deux catégories précédentes.

Les 50 % d'étudiants appartenant au groupe G1 et ayant utilisé des attributs pour justifier leurs réponses à la situation de Karavasta (tableau 2) semblent avoir tenté d'appliquer à ce problème le même type de résolution que pour Guemsah. En effet, un « corrigé » de ce dernier leur avait été proposé pendant la séance (étape n° 5 du dispositif) et les étudiants semblent avoir mémorisé cette démonstration comme un algorithme qu'ils ont ensuite tenté d'appliquer sans pouvoir donner la réponse attendue. L'implication dans un débat entre pairs à la suite du "corrigé" minimiserait la tentation de suivre cette démarche puisque les groupes suivants (ayant bénéficié de l'introduction d'une séquence de débat dans le dispositif) semblent produire des réponses plus originales.

Dans le groupe G0, 58 % des étudiants utilisent des attributs du concept pour justifier leurs réponses à la situation de Guemsah alors que la formalisation du concept ne leur a pas encore été présentée. Cette situation avait été considérée *a priori* comme la plus simple car le contexte du problème est une lagune typique des milieux étudiés. Dans ce cas typique, une grande proportion d'étudiants aurait été capable d'utiliser quelques attributs du concept pour résoudre le problème sans forcément avoir conscience de reconnaître des caractéristiques fondamentales du concept. Rappelons en effet que ces étudiants avaient déjà rencontré des exemples d'écosystèmes paraliques lors de cinq séances précédentes mais cette présentation magistrale ne leur aurait pas donné l'occasion de s'approprier le concept. Ainsi, face aux situations-problèmes – lorsqu'il s'agit de tester l'efficacité du concept avec des problèmes non routiniers – ils s'avèreraient peu capables de décontextualiser leurs connaissances et ne chercheraient pas à appliquer une démarche de recherche d'attributs.

De nouveaux perfectionnements peuvent encore être apportés au dispositif afin d'évaluer plus précisément l'acquisition du concept par les étudiants. Nous pensons qu'il serait fructueux d'introduire, en fin de séance, un problème concernant un milieu qui ressemblerait à un écosystème paralique mais qui n'en serait pas un selon la définition du concept (c'est-à-dire qu'il lui manquerait un ou plusieurs attributs).

De plus, les quatre problèmes utilisés risquent de définir une classe particulière ; ils perdraient ainsi leur statut de problèmes « non routiniers ». Chaque problème s'avère en effet représentatif d'un même type : « Comment aménager un écosystème paralique pour exploiter ses potentialités aquacoles de manière optimale ? » Pour envisager une formation évitant cette dérive (les situations-problèmes proposées devenant des problèmes

routiniers), d'autres types de problèmes pourraient être utilisés, comme la recherche de sites pétrolifères ou la reconstitution d'un environnement fossile (Reynaud et al., 1995).

D'autre part, l'introduction d'une phase de « débat socio-cognitif » semble avoir été déterminante dans l'apprentissage du concept. Il nous paraît toutefois important de souligner que la démarche proposée correspond à l'application d'un ensemble de principes cohérents et qu'elle a été évaluée globalement. En effet, dans notre optique, de tels débats visent un « dérangement épistémologique » (Larochelle & Désautels, 1992), c'est-à-dire qu'ils doivent susciter une prise de conscience du statut épistémologique des différents systèmes explicatifs discutés par les apprenants (leurs propres modèles et celui du concept proposé). Si un débat socio-cognitif favorise effectivement l'apprentissage, il ne peut donc être utilisé indépendamment d'une approche complète touchant aux différents aspects que nous avons indiqués.

D'autres expérimentations seraient maintenant nécessaires, notamment afin d'obtenir une validation statistique de nos hypothèses.

Si cette approche a contribué avantageusement à l'acquisition d'un concept d'écologie - comme la tendance mise en évidence par notre évaluation semble le montrer - ne pourrait-elle pas être utilisée pour d'autres concepts de biologie et pour des concepts d'autres disciplines ?

## 5. CONCLUSION

Les principes qui ont guidé l'élaboration du dispositif ne peuvent certainement pas constituer une solution-miracle aux problèmes de l'enseignement scientifique universitaire, pas plus qu'ils ne doivent devenir des prescriptions incontournables pour prétendre atteindre la maîtrise de concepts par des apprenants. Nos résultats semblent toutefois assez encourageants pour permettre d'amorcer une discussion sur les pratiques pédagogiques et didactiques des universitaires français. En effet, ils pourraient indiquer qu'un travail didactique peut fournir des dispositifs d'apprentissage n'impliquant pas une augmentation du temps d'enseignement. Plus généralement, l'approche didactique pourrait constituer un gain de temps lorsque l'objectif d'une communication est l'apprentissage d'un concept par un public. L'atteinte de cet objectif serait alors identifiable au développement d'une capacité à résoudre des problèmes non routiniers.

À partir de ce travail, deux perspectives nous semblent maintenant susceptibles d'être développées. Du côté de l'enseignement universitaire :

approfondir la possibilité de proposer des dispositifs obéissant aux principes que nous avons énoncés et évaluer, sur une plus grande échelle, les avantages et les inconvénients de ce type d'intervention. Dans une perspective plus large : explorer la possibilité de transposer les principes proposés à d'autres contextes de communication de connaissances scientifiques (vulgarisation scientifique, formation des publics intéressés par l'aménagement des milieux littoraux, etc.)

Au terme de cette étude, deux aspects de notre approche pourraient être testés avec d'autres contenus ou dans d'autres contextes : d'une part l'apprentissage par résolution de problèmes et d'autre part l'obligation qui a été faite, dans les phases de débat, de reformuler les points de vue adverses pour s'assurer qu'il y a bien une communication qui s'établit entre pairs. La première condition serait nécessaire pour créer une tension, une motivation intrinsèque pour aller vers des connaissances nouvelles et la seconde pour permettre l'accommodation au sens de Piaget (1969).

L'histoire des sciences montre que, bien souvent, c'est pour résoudre un problème (concret ou abstrait) que les hommes ont fait évoluer leurs conceptions du monde ou d'eux-mêmes. Cette évolution a impliqué de longues périodes de confrontation conflictuelle entre pairs de la communauté scientifique. Cet affrontement des hommes et des idées paraissant indispensable, ne pourrait-on pas l'optimiser en réunissant les conditions favorables à l'accommodation et donc à l'existence de débats efficaces ? À nos yeux, la plupart des débats n'en sont pas, car les interlocuteurs sont plus centrés sur un besoin de reconnaissance personnelle ou sur la réfutation des thèses adverses (Latour, 1989 ; Vinck, 1995) que sur les raisons qui ont amené les tenants de ces thèses à les adopter, ce qui détermine bien un conflit social, cognitif ou pas !

## BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI J.-P. & DEVELAY M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris, PUF.
- ASTOLFI J.-P. & PETERFALVI B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, n° 16, pp. 103-141.
- BARTH B.-M. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris, Retz.
- BARTH B.-M. (1993). *Le savoir en construction*. Paris, Retz.
- BROUSSEAU G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 7, n° 2, pp. 33-116.
- DE VECCHI G. & GIORDAN A. (1989). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que ça marche ?* Nice, Z'éditions.
- FAVRE D. (1993a). Approche neuro-pédagogique des lobes frontaux humains. *Les sciences de l'éducation*, vol. 5, n° 92, pp. 23-44.

- FAVRE D. (1993b). Changer de représentation : interaction entre émotion et cognition. *Cahiers pédagogiques*, n° 312, pp. 11-14.
- FAVRE D. (1995) Conception de l'erreur et rupture épistémologique. *Revue Française de Pédagogie*, n° 111, pp. 85-94.
- FAVRE D. & FAVRE C. (1993). Un modèle complexe des motivations humaines - Application à l'éclairage de la crise d'adolescence. *Revue de Psychologie de la Motivation*, n° 16, pp. 27-42.
- FAVRE D. & FAVRE C. (1996). Crise et apprentissage, quelles motivations ? *Cahiers Pédagogiques, hors série "Motivation"*, pp. 41-49.
- FAVRE D. & RANCOULE Y. (1993). Peut-on décontextualiser la démarche scientifique ? *Aster*, n° 16, pp. 29-46.
- FAVRE D. & VERSEILLS I. (1997). Étude de l'acquisition et du réinvestissement du concept de surface portante. *Aster*, n° 25, pp. 33-57.
- GIORDANA. & DE VECCHI G. (1987). *Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Paris, Delachaux et Niestlé.
- GUELORGET O. & PERTHUISOT J.-P. (1983). *Le domaine paralique - Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement*. Paris, Presse de l'École Normale Supérieure.
- JOHSUAS. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- LAROCHELLE M. & DÉSOUTELS J. (1992). *Autour de l'idée de science – Itinéraires cognitifs d'étudiants*. Québec, Presses de l'Université Laval.
- LATOUB. (1989). *La science en action*. Paris, La Découverte.
- PIAGET J. (1969). *Éducation et Instruction, Psychologie et Pédagogie*. Paris, Denoël.
- REYNAUD C. (1997). *Contribution à la formalisation et à la communication d'un concept d'écologie des milieux littoraux : les écosystèmes paraliques – Interprétation épistémologique et propositions didactiques*. Thèse de doctorat, Université Montpellier II.
- REYNAUD C. & FAVRE D. (1994). Conception de l'erreur et rupture épistémologique : de la théorie à la pratique. In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds), *Actes des XV<sup>èmes</sup> Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifique et Technique de Chamonix*, pp. 175-180.
- REYNAUD C. & FAVRE D. (1997). Un dispositif didactique utilisant une approche conceptuelle en écologie, l'apprentissage par résolution de problèmes et le débat socio-cognitif à l'université. *Didaskalia*, n° 10, pp. 113-137.
- REYNAUD C., GUELORGET O. & FAVRE D. (1995). Didactic approach of the paralic ecosystem concept. In O. Guelorget & A. Lefèbvre (Éds), *Actes du colloque « Baltic sea and Mediterranean sea – A comparative ecological approach of coastal environments and paralic ecosystems »*. Montpellier, Laboratoire d'Hydrobiologie Marine de l'Université de Montpellier, pp. 14-26.
- REYNAUD C., GUELORGET O. & FAVRE D. (1996a). Contribution didactique à la modélisation du concept de milieu paralique et application à l'étude des conceptions des élèves locaux. *Journal de Recherche Océanographique*, vol. 20, n° 1-2, pp. 65-74.
- REYNAUD C., GUELORGET O. & FAVRE D. (1996b). A model for scientific communication of the paralic ecosystem concept – A pretext for discussing development of scientific knowledge in the research field. In A. Giordan & Y. Girault (Éds), *The new learning models – Their consequences for the teaching of biology, health and environment*. Nice, Z'éditions, pp. 155-166.
- VERGNAUD G. (1990). Théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 10, n° 2-3, pp. 133-170.
- VINCK D. (1995). *Sociologie des sciences*. Paris, Colin.

**ASTOLFI J.-P., DAROT E., GINSBURGER-VOGEL Y. & TOUSSAINT J. (1997). *Pratiques de formation en didactique des sciences*. Bruxelles-Paris, De Boeck Université, 493 p.**

Les thèmes de recherche en didactique des sciences ont évolué de travaux très nombreux sur l'étude et la catégorisation des représentations des élèves, vers l'élaboration d'outils et de séquences pédagogiques, pour être aujourd'hui plus centrés sur l'enseignant comme acteur et transformateur de stratégies didactiques. Dans la continuité de cette évolution l'ouvrage qui est présenté ici se place dans le champ de la formation des enseignants en sciences expérimentales, en s'appuyant sur les principaux résultats que la recherche en didactique des sciences a produits depuis trois décennies.

Il s'agit avant tout d'un document de ressources pour la formation, il est associé à un autre ouvrage écrit par les mêmes auteurs intitulé « *Mots clés de la didactique des sciences* » qui donne un éclairage plus théorique et qui est prévu pour une utilisation conjointe. Ses objectifs sont multiples ; selon les auteurs ces deux ouvrages « *visent à diffuser, en direction des enseignants, des acquis de recherches en didactique des sciences et à les traduire en documents de ressources pour la formation* ». Ces ouvrages ont été conçus et réalisés dans le cadre collectif de l'INRP au sein de l'unité de didactique des sciences expérimentales. Et l'on retrouve en effet un certain nombre de situations pédagogiques ou de résultats de recherche publiés dans le passé par ce collectif mais en les opérationnalisant en termes de formation, en les transformant en outils, méthodes et concepts pour la formation des enseignants et c'est bien ça qui en fait son originalité et son grand intérêt.

Selon les auteurs trois principes guident les formations mises en œuvre dans cet ouvrage : premier principe, « *la formation vise à une mise en mouvement des personnes afin qu'elles acquièrent des nouvelles grilles de lectures de la classe, afin qu'il y ait un renouvellement des pratiques pédagogiques* », second principe, « *les dispositifs entretiennent une certaine parenté avec ce que le formé aura à installer pour ses élèves, à son retour dans sa classe* », troisième principe, les dispositifs de formation proposés sont ouverts car « *s'il est important que le formateur clarifie au mieux le modèle dans lequel il se situe et qu'il fait fonctionner, ce n'est pas à lui de dicter la conduite future des formés* ».

L'ouvrage présente trente et un dispositifs de formation ayant tous fait l'objet de pré-expérimentations. Il se découpe en quatre modules autour des thèmes suivants : concepts, représentations et obstacles, démarches pédagogiques, lecture et lisibilité. Chaque dispositif de formation est présenté de la même façon : un titre sous la forme d'une question et d'une action, les objectifs de la situation, le domaine scientifique concerné, des mots clés (entre 3 et 5), la durée requise pour mettre en œuvre la situation, le public visé. La situation de formation est ensuite décrite et découpée en différentes phases. Une bibliographie est suivie de documents, outils ou annexes. Les activités proposées, s'appuyant sur les documents outils, font alterner travail individuel et travail de groupe.

Le chapitre sur les concepts est découpé en sept thèmes, il fournit des outils très utiles pour analyser et apprendre à construire des situations d'apprentissage. Il peut aussi être utilisé par des étudiants préparant un CAPES scientifique pour lequel il est très important de savoir construire une analyse de concept.

Le chapitre sur les représentations est découpé en six thèmes et propose des outils pédagogiques et des stratégies didactiques



pertinentes qui s'appuient sur des analyses de conceptions d'élèves. La notion de situation-obstacle est, dans cette optique, très riche.

Le chapitre sur les démarches pédagogiques est composé de onze thèmes. La construction d'activités scientifiques et l'apprentissage de la démarche scientifique y sont largement traités.

Le dernier chapitre sur lecture et lisibilité traite de tous les aspects de la lecture et de l'écriture en sciences aussi bien écrite qu'iconique, avec divers types de supports allant des images mentales aux expositions en passant par le manuel scolaire.

Cet ouvrage reprenant des travaux assez classiques en didactique des sciences est très intéressant par tout le travail de construction de situations de formation qu'il propose. De nombreux didacticiens ayant à faire de la formation ont eu à effectuer ce travail sans l'avoir forcément jamais montré ou explicité. Cet ouvrage prolonge ceux déjà publiés de Johsua et Dupin, ou Robardet et Guillaud. Son originalité vient du fait qu'il s'agit d'un véritable manuel de formation « clé en main », où un travail de digestion, d'explicitation et de construction de situations a été effectué de façon précise, fine et détaillée. Ce type d'ouvrage devrait se développer très largement sur papier ou en ligne, il est très utile à tous les formateurs d'enseignants ; il permet d'appréhender des situations de formation « ouverte », comme il en existe rarement.

P. Marzin

---

**ASTOLFI J.-P., DAROT É., GINSBURGER-VOGELY., TOUSSAINT J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Bruxelles-Paris, De Boeck Université, 193 p.**

---

Cet ouvrage correspond au volet complémentaire du volume intitulé « *Pratiques de formation en didactique des sciences* », consacré à la présentation de dispositifs de formation. Il adopte une présentation alphabétique et propose une synthèse relativement précise de dix huit concepts forgés en didactique des sciences et des mathématiques. À chacun

des concepts est associée une présentation prenant appui sur des citations extraites de textes de référence, ainsi que des éléments de discussion au travers desquels transparaît le point de vue des auteurs. Le tout est complété par une bibliographie sommaire mais précieuse.

L'ouvrage effectue, d'une certaine façon, une transposition didactique de concepts de la didactique des sciences, à des fins de formation. L'idée sous-jacente est, qu'au delà de la recherche elle-même, il est possible de développer, en formation, un point de vue didactique original et spécifique. Les concepts didactiques sont abordés comme des outils d'analyse utiles pour comprendre ce qui se joue dans les situations d'enseignement, et aussi pour construire des dispositifs de formation. Le postulat est donc que la « didactique des sciences », comme discipline, est suffisamment mature et structurée pour sortir du cadre étroit de la recherche et devenir opérationnelle à différents niveaux de la fonction enseignante.

Des thèmes connexes à la didactique tels que l'épistémologie et les modèles pédagogiques sont également abordés. Outre qu'ils introduisent les cadres de référence des didacticiens, ils apportent un éclairage intéressant dans la compréhension de certains phénomènes didactiques.

L'ouvrage emprunte à différentes didactiques disciplinaires, et présente de façon très claire des concepts originaires des différents champs : contrat et transposition didactique, conception, niveaux de formulation, pratiques sociales de référence. Il propose ainsi des repères théoriques très diversifiés.

Si ce volume peut être consulté pour lui-même, à la manière d'un lexique didactique, les auteurs préfèrent l'envisager comme un référent théorique. L'ouvrage sur les pratiques de formation en didactique des sciences opère d'ailleurs des renvois systématiques à ses différentes parties. C'est là un intérêt certain à la présentation alphabétique retenue. Un écueil de ce choix de présentation était de dissocier artificiellement des concepts proches ; il est évité par un système d'allusion et de mise en relation systématique des concepts entre eux.

La réserve qui peut être faite concerne les concepts hérités de la didactique des mathématiques. Du fait du parti pris synthétique des auteurs, ils apparaissent quelque peu coupés de leur champ théorique. C'est le cas en particulier du « contrat didactique », difficile à replacer en quelques lignes dans la théorie des situations énoncée par Brousseau. On le trouve ainsi associé au concept de « coutume didactique » extérieur à la théorie ; à l'opposé le concept de « milieu didactique », dimension supplémentaire introduite par Brousseau au « triangle didactique », est occultée. Enfin, la transposition didactique n'est pas abordée du point de vue de la théorie anthropologique des savoirs.

Il ne faut pas voir ici une omission de la part des auteurs. C'est là manifestement l'expression de différences dans les problématiques et cadres de référence propres à chaque didactique disciplinaire. Or les domaines scientifiques concernés par les deux ouvrages sont en premier lieu ceux des sciences expérimentales. Les renvois à la bibliographie permettent néanmoins au lecteur de se construire une vision plus large de la didactique.

À la décharge des auteurs, reconnaissons que cette tâche de transposition était complexe, voire ambitieuse, tant le champ est encore éclaté et mouvant. Les auteurs rappellent d'ailleurs que, par nature, un tel travail s'accompagne obligatoirement d'un certain nombre d'adaptations. En tout état de cause, les utilisateurs -formateurs et enseignants- devraient trouver, en ce document, une aide précieuse pour se repérer au plan théorique. Ils seront certainement reconnaissants aux auteurs de l'effort de synthèse qui a guidé sa production.

Par ailleurs, en se recentrant sur les difficultés d'appropriation des contenus enseignés et en mettant l'accent sur les variables internes au système didactique sur lesquelles l'enseignant a prise, l'approche introduite par ces deux ouvrages devrait permettre de renouveler la méthodologie d'analyse des situations d'enseignement-apprentissage, et aussi d'élargir la gamme d'intervention des enseignants et formateurs.

É. Triquet

**BARRÈRE A. (1997). *Les lycéens au travail. Tâches objectives, épreuves subjectives*. Paris, PUF-Pédagogie d'aujourd'hui, 262 p.**

Considérer le travail scolaire des lycéens comme un objet sociologique en soi, de façon à cerner la globalité et l'unité de cette réalité multiple largement invisible depuis l'institution scolaire, telle est la ligne directrice de la recherche dont ce livre présente les principaux résultats.

L'enquête a été réalisée auprès de lycéens fréquentant deux établissements bien différenciés : l'un situé dans une petite ville minière, recrute des élèves majoritairement issus de milieux socio-culturellement défavorisés ; l'autre, installé au centre d'une grande ville, est fréquenté par une proportion très importante d'enfants de cadres et membres des professions intellectuelles. Les méthodes choisies, alliant quantitatif (questionnaire) et qualitatif (entretien, journal de bord), ont permis de prendre en compte, outre l'établissement, les variables suivantes : origine sociale, sexe, valeur scolaire, section et niveau d'études.

A. Barrère motive *a priori* sa recherche par une analyse du rôle central que joue aujourd'hui au lycée le travail scolaire. Dans un contexte où la légitimité des contenus enseignés, peu modifiés malgré l'arrivée de nouveaux publics, ne peut plus se fonder ni sur la proximité à la culture familiale, ni sur une relation assurée avec l'insertion professionnelle et sociale future, les enseignants éprouvent des difficultés grandissantes à faire vivre des relations pédagogiques orientées vers des enjeux de savoir. Côté élèves, nombreux sont ceux qui peinent à réaliser les apprentissages attendus ; or l'échec est dramatisé par ses conséquences en termes de réorientation et d'éviction. En tant qu'institution didactique, le lycée vit une crise profonde. Le discours sur la réussite par le travail scolaire apparaît comme une manière consensuelle de gérer la situation au jour le jour. Aux enseignants, il fournit un diagnostic simple et un moyen de pression. Aux lycéens, il laisse l'espoir d'une réussite au mérite individuel, par delà les déterminations biologiques ou sociales.

Les données recueillies auprès des lycéens ont été exploitées selon quatre axes analytiques qui sont abordés successivement dans cet ouvrage.

L'organisation du travail est la première dimension étudiée. Concernant le volume hebdomadaire, aucune différence significative n'est mise en évidence selon l'établissement, l'origine sociale ou la valeur scolaire ; par contre, le sexe, la section et le niveau d'études sont déterminants.

L'efficacité du travail est très inégale suivant les élèves ; plusieurs facteurs contribuant à créer ce différentiel émergent lorsque A. Barrère se penche sur la gestion par les lycéens des deux dichotomies qui scindent les activités scolaires : en classe/hors classe, dans l'établissement/à la maison.

Le discours sur l'autonomie s'accompagnant d'un désengagement accru des enseignants dans la définition et le contrôle du hors classe, des variations importantes apparaissent dans la nature et l'ampleur de ce que les lycéens doivent ou s'imaginent devoir accomplir pour assimiler le contenu des cours. La capacité de la famille à apporter une aide adaptée est ici très nettement différente selon la catégorie socioprofessionnelle.

Le poids et la répartition irrégulière du travail scolaire, la lourdeur des journées rendent cruciale la question de la planification ; le lycéen doit savoir entreprendre certaines tâches en dehors de la pression due à l'urgence. Les éléments apportés dans cette étude, sur l'utilisation du week-end par exemple, montrent de manière très éclairante comment les formes de la vie non scolaire peuvent épauler l'adolescent ou au contraire rendre plus difficiles les décisions de se mettre au travail.

Le deuxième axe d'analyse concerne les incertitudes qui règnent, pour les lycéens, sur la définition des tâches et des normes.

Concernant les tâches quotidiennes, le discours des élèves moyens ou faibles est plutôt critique par rapport à leurs propres habitudes de travail mais ils conçoivent mal comment les faire évoluer dans le sens d'une plus grande efficacité. Un encadrement plus insistant par les enseignants est souhaité,

particulièrement chez les lycéens d'origine populaire.

Quant aux devoirs contrôlés, A. Barrère en analyse d'abord l'exigence grandissante : déstandardisation et appel croissant à la réflexion personnelle ; en même temps, exigences formelles plus pressantes (voulant faire acquérir à leurs élèves certaines méthodes – par exemple plan en trois parties –, les enseignants font de leur utilisation un critère d'évaluation).

L'enquête fait apparaître combien les lycéens déchiffrent mal cet ensemble complexe de demandes partiellement implicites qu'ils ressentent souvent comme contradictoires. Ils démêlent difficilement les lacunes de leurs propres travaux, peu aidés en cela par la note, compromis trop variable suivant les devoirs, les enseignants ou les matières pour être aisément décodé.

La variabilité de l'évaluation suivant le prestige de la classe, de la section et de l'établissement est enfin analysée pour sa contribution à l'opacité de la note.

Le troisième axe d'analyse s'intéresse aux significations du travail scolaire pour les lycéens.

L'utilité sociale des années lycée est aujourd'hui reconnue mais, brouillée par l'intégration nécessaire à un cursus plus long, elle se transforme difficilement en motivation au travail. En effet, s'ils associent l'accès au second degré à certaines ambitions sociales, les lycéens semblent en rester, sauf exceptions, à une vision floue de leur avenir, jusqu'à ce que l'orientation sur fond d'échecs les oblige à formuler des projets plus subis que choisis.

L'intérêt intellectuel constitue toujours une motivation au travail relativement importante, sous des formes nouvelles liées à l'utilité des savoirs pour l'expression de la personnalité et pour la compréhension de l'actualité. L'enseignant par sa pédagogie et ses aptitudes relationnelles peut également créer un attrait « local » pour sa discipline.

Ces significations se révèlent cependant trop fragiles pour soutenir l'effort scolaire au quotidien. A. Barrère examine donc comment les échéances internes au système scolaire

(notes, moyennes, etc.) fournissent une signification supplétive qui motive et organise le travail lycéen. Cet instrumentalisme, présent chez tous les lycéens, apparaît socialement différencié dans ses formes et ses effets.

L'évaluation scolaire, qui se veut verdict sur le travail et les productions du lycéen, a en réalité à voir avec la personne toute entière. S'appuyant sur les entretiens et les journaux de bord, l'auteur explore cette dimension subjective, plus intime, qui constitue donc le quatrième thème de son étude. Elle nous propose en particulier une analyse très pénétrante du malaise de ces élèves qui ont des résultats médiocres malgré un travail envahissant et présente les conduites qu'ils peuvent développer pour se protéger.

Pour conclure cette étude, A. Barrère revient sur le discours de la réussite par le travail dont elle établit le caractère illusoire, plus marqué chez les jeunes filles et chez les lycéens d'origine populaire. Elle montre que, dans les deux établissements, au moins 4 élèves sur 10 ont des résultats décevants au regard de leur investissement.

Et pourtant, malgré tous les démentis pratiques, les lycéens réaffirment leur croyance en ce principe « méritocratique », si important pour le fonctionnement du système.

Ce livre, d'une lecture accessible, me semble pouvoir être utilisé avec profit pour la formation des professeurs du second degré. Je pense particulièrement au développement consacré à la dimension subjective ; il devrait favoriser chez des (jeunes) enseignants parfois très centrés sur leur discipline une prise de conscience des effets psychologiques de leurs diverses interventions auprès d'élèves qui sont aussi des personnes. Par ailleurs, cette étude m'a intéressée comme chercheur en didactique des mathématiques ; traitant du travail personnel des élèves et du curriculum caché, j'ai retrouvé, abordées d'un point de vue transdisciplinaire, certaines des questions que je me pose. L'approche sociologique transversale adoptée devrait susciter chez les didacticiens de toutes disciplines des envies d'approfondissements, prenant en compte les spécificités d'un savoir ; c'est déjà une très bonne raison de leur conseiller cette lecture.

C. Castela

---

**LOUMOUAMOU A. (1998). *Contribution à l'étude de la transposition didactique en chimie organique*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble I.**

---

La thèse présentée par Aubin Loumouamou étudie la construction du savoir de référence en chimie organique et sa transposition vers l'enseignement en premier et second cycle universitaire. Cette étude ne peut être indépendante des rapports entre modélisation et expérimentation mais elle n'envisage pas l'enseignement de travaux pratiques qui a fait l'objet d'une autre thèse dans le même laboratoire, celle d'Armilde Rivera soutenue en 1997 et intitulée « *Étude didactique et épistémologique de l'enseignement expérimental en chimie. Apprentissage de la démarche scientifique au laboratoire sur le thème de la substitution nucléophile d'halogénures d'alkyle* ».

Ce travail conduit à une analyse fouillée dont on peut retenir le caractère novateur puisque la chimie organique n'avait encore jamais fait l'objet d'une telle étude didactique.

L'auteur montre que le début des années 60 est, en France au moins, marqué par une véritable « révolution didactique » traduite par l'émergence d'une volonté de rationalité et de cohérence. Des schémas explicatifs globaux et logiques cherchent enfin à structurer la diversité descriptive voire à prédire les résultats. En particulier, deux ouvrages de l'époque sont analysés dont nous sommes nombreux à pouvoir témoigner de l'impact dans l'enseignement universitaire : *Mécanismes réactionnels en chimie organique* de M. Julia et *Chimie organique moderne* de J.D. Robert & M. Caserio.

Depuis cette date charnière, l'accumulation des savoirs et la prise en compte dans le savoir savant de la complexité et de la multifactorialité de la chimie organique ont beaucoup fait évoluer le savoir de référence. Comme le souligne l'auteur, le texte du savoir (livres) comme le savoir enseigné (évalué à travers des questionnaires soumis aux enseignants) sont, l'un et l'autre, très en retrait sur cette évolution. La distance savoir savant-savoir enseigné augmente donc rapidement

et pose clairement le problème du choix de la transposition à mettre en oeuvre et de la légitimité de ce savoir enseigné.

L'hypothèse de base développée par l'auteur dans la première partie de son travail est que les difficultés d'enseignement et d'apprentissage en chimie organique sont reliées à une forte spécificité épistémologique et à une approche microscopique trop privilégiée. La pertinence de cette double hypothèse sera largement validée dans la suite du travail. Le cadre choisi est celui de la transposition didactique de Chevallard volontairement limitée à la référence savante, sans considération des pratiques sociales de référence de Martinand. C'est sans doute une des limites de l'étude qui exclut le champ d'enseignement technologique de l'IUT.

La deuxième partie est consacrée à une analyse épistémologique de la chimie organique. L'aspect spécifique de la chimie organique est nettement mis en évidence à travers les découvertes de la benzodiazépine et d'un neuroleptique, telles qu'elles ont été présentées par J. Jacques : le poids de l'imprévu et de la démarche intuitive y coexistent avec la démarche logique et rationnelle et renvoie aux thèses de Feyerabend. L'examen explicite des phases du développement théorique de la chimie organique n'est vraiment originale que pour la troisième phase, celle que l'auteur situe de 1918 à aujourd'hui. Elle est articulée autour de trois paradigmes qui paraissent judicieusement choisis : le « *paradigme Lewis* » qui va permettre un développement brutal de la chimie organique vers 1930 grâce à la théorie des mécanismes réactionnels, le « *paradigme milieu* » qui va permettre le passage du moléculaire au sociomoléculaire, le « *paradigme quantique* » qui ne diffuse encore que très légèrement dans le savoir enseigné. Peut-être le principe de Hammond, en raison de sa large utilisation en chimie organique, est-il un peu sous-estimé ?

Dans la troisième partie, l'étude de treize manuels d'enseignement, édités entre 1958 et 1995, montre assez bien l'effort de rationalisation accompli et la difficulté à marier le foisonnement expérimental, lié à l'évolution rapide de la chimie organique, avec la volonté de rationalité et de logique. Les réponses de 23 enseignants et de 394 étudiants à propos

de questionnaires de perception sont largement convergentes et placent à un bon niveau compréhension et raisonnement dans une discipline jugée difficile.

A. Loumouamou analyse dans la quatrième partie la construction du savoir savant et ses relations avec le savoir enseigné dans quelques secteurs typiques allant de l'estérification aux relations entre structure et propriétés acido-basiques. Les choix de transposition didactique reviennent finalement toujours à simplifier le schéma réactionnel ou à isoler un seul paramètre directeur, au risque d'une dénaturante réductrice. Un exemple très parlant est celui des additions électrophiles : le modèle du carbocation intermédiaire s'est imposé, il y a près de 70 ans, par sa logique explicative ; il a résisté depuis aux contre-exemples et constitue la justification d'une règle dogmatique, la règle de Markownikov, même si elle est en divorce avec les faits expérimentaux.

Après avoir montré que, face à une situation de résolution de problèmes, les étudiants ont beaucoup de mal à intégrer et moduler les différents paramètres directeurs, A. Loumouamou propose précisément dans la dernière partie une séquence d'enseignement sur les additions électrophiles. Deux modèles d'addition, l'un en milieu ionisant, l'autre en milieu non ionisant sont mobilisés sur la base de la diversité des situations expérimentales. L'expérimentation menée montre, qu'à Marrakech comme à Grenoble, les contraintes didactiques entrent en conflit, comme on pouvait le craindre, avec cette approche plus scientifique.

En conclusion de ce travail élaboré et original A. Loumouamou repère deux obstacles essentiels dans la transposition didactique en chimie organique : l'un épistémologique (non prise en compte du milieu) l'autre ontogénétique autant que didactique (paradigme quantique). Ces obstacles amènent les étudiants à choisir une « *voie économique* » se réduisant à un apprentissage reproductif et à l'application systématique de règles. Un tel travail nous met en garde sur les risques d'un enseignement dogmatique qui nous menace tous. Il nous alerte de façon salutaire sur une nécessaire vigilance épistémologique.

R. Barlet

**MORGE L. (1997). *Essai de formation professionnelle des professeurs de sciences physiques portant sur les interactions en classe. Étude de cas en formation initiale*. Thèse de doctorat, Université Denis Diderot Paris 7.**

La thèse de Ludovic Morge s'inscrit dans une perspective de contribution à la formation des enseignants. C'est la capacité à interagir avec les élèves en classe qui est ici l'enjeu de formation envisagé, dans une perspective de modification des pratiques existantes, considérées comme trop expositives et dogmatiques compte tenu de la réflexion actuelle sur les apprentissages (conceptions didactiques) et sur la nature de la science (conceptions épistémologiques).

Ce projet de proposition, de mise en oeuvre et d'analyse d'une formation professionnelle a nécessité un travail sur la caractérisation de pratiques interactives qui pourraient être considérées comme pertinentes par rapport aux points de vue didactique et épistémologique retenus et une réflexion sur les principes de construction d'une formation susceptible de faire acquérir les compétences visées. Ce travail a été mené en relation avec un groupe de recherche (Paris 7- IUFM de Versailles, INRP, 1992-1997) sur l'objectivation des pratiques de tutelle et de médiation.

Le premier chapitre est centré sur la formation des enseignants. L. Morge regroupe tout d'abord les formations présentées dans les travaux récents qu'il a analysées en deux catégories : celles qui envisagent de faire changer les conceptions (scientifiques et épistémologiques) préalablement et indépendamment de la pratique de classe et celles qui considèrent comme nécessaire de travailler sur les conceptions scientifiques, épistémologiques et pédagogiques en référence aux situations professionnelles des enseignants. Il présente ensuite, peut-être un peu trop rapidement, différents points de vue sur la formation avant de définir les principes directeurs qu'il a retenus pour construire une formation.

Le second chapitre est centré sur l'élaboration de descripteurs d'interaction dont les

enseignants pourraient se saisir et qui permettraient de créer un espace de discussion sur la pratique. C'est à partir de l'observation d'enseignants confirmés intervenant dans la formation des enseignants que L. Morge a essayé d'identifier des exigences communicables, accessibles, évolutives. L'analyse de cinq séances à des niveaux scolaires et sur des thèmes scientifiques différents fait en effet apparaître des modes d'interaction enseignant-élèves qui ne sont pas compatibles avec un rôle de guidage dans la construction des connaissances.

Le troisième chapitre est une présentation et une analyse de la formation qui a été mise en oeuvre avec deux professeurs stagiaires volontaires. Cette formation est conçue en termes de décalages successifs par rapport à une pratique initiale ; elle s'appuie sur des outils (grille de préparation de séances, grille d'analyse de séances) proposés aux stagiaires. Le suivi de l'évolution de ces stagiaires est assuré par l'enregistrement des séances de préparation et de discussion sur les séances, par l'enregistrement des séances de classe et par des entretiens. C'est une succession d'étapes d'appropriation qui est analysée plus que le processus même de cette appropriation.

La méthodologie d'analyse aurait sans doute gagné à être plus systématique et mieux affichée ; on manque un peu d'informations permettant d'évaluer le coût en temps d'une telle formation dans une perspective de généralisation. Cependant ce travail apporte un corpus très intéressant de transcriptions de séances de classe qui peuvent servir de base à de nouvelles analyses et met en évidence la difficulté d'appropriation par les enseignants en formation d'un ensemble de compétences assez éloignées des pratiques habituelles. Il contribue à remettre en question l'idée qu'il suffirait de changer les conceptions des enseignants (sur l'apprentissage et sur l'épistémologie des sciences notamment) pour que les pratiques se transforment. Une analyse des contraintes institutionnelles pourrait contribuer à mieux cerner la potentialité d'évolution des pratiques. Par ailleurs, la place de ce type de pratiques par rapport à d'autres pratiques d'enseignement serait également à discuter.

L. Morge a su reprendre et a essayé d'objectiver, ce travail de formation dans lequel il s'était lancé. Les « grands principes » qu'il s'était donnés au départ, il a essayé d'explicitier leur opérationnalisation, comment il les avait mis en oeuvre, contrôlant ainsi la cohérence possible entre cet affichage un peu général et la stratégie concrète d'un formateur qui propose des outils, qui négocie des exigences, qui fait des choix de priorité, de modes d'intervention, qui apporte des informations, des cadres épistémologiques et didactiques, qui donne du sens à des actions.

La volonté de L. Morge de partir de ce que les stagiaires étaient -ou se sentaient- capables de gérer dans leur classe à un moment donné l'a conduit à travailler par approximations successives, à abandonner momentanément une trop grande exigence sur les situations elles-mêmes, les problèmes posés aux élèves, pour se centrer sur des exigences d'échanges dans la classe entre le professeur et les élèves. Non pas les échanges d'une « classe dialoguée » mais des échanges « de type guidage dans la construction des savoirs » où les propositions des élèves sont discutées pour ce qu'elles valent scientifiquement en référence à ce qui est disponible et à ce qui est demandé. Le travail de formation porte précisément sur ces échanges, sur l'anticipation possible pour alléger la charge de l'enseignant en temps réel, sur l'analyse de ces échanges comme moteur d'appropriation de critères de pertinence de l'interaction.

On est loin des situations « clé en main » dont la validité est sûrement plus assurée tout au moins dans leur potentialité ; mais peut-être pas si loin de ce que deviennent ces situations modèles lorsqu'elles sont reprises en tant qu'exécutant. Le pari est ici de faire avancer d'abord sur la gestion des interactions avec les élèves.

Pour repérer les progrès des stagiaires en formation, L. Morge croise l'analyse de leurs discours sur les difficultés rencontrées, l'analyse du discours qu'elles produisent sur leur pratique d'enseignant et sa propre analyse des transcriptions de leurs séances de classe.

Tout bouge et la mise au point est difficile car chaque analyse reprise se fait par rapport à un cadre qui n'est plus tout à fait le même à chaque étape de la recherche. Il faut en effet

construire le signifiant et le signifié : qu'est-ce qu'une interaction « constructiviste » et comment en parler ?

Si on repère assez bien ce qu'on voudrait éviter, des simulacres d'interaction, on a du mal à désigner de façon plus positive ce qu'il faudrait faire. Entre le très général qui ne prend pas de sens et le complètement contextuel qui ne permet pas de réinvestir, il faut arriver à dégager un espace de communication, de négociation, de questionnement pour la formation.

C'est cet espace que L. Morge a essayé d'investir. Son travail exhibe la difficulté à progresser dans ce rôle de médiateur ou de tuteur mais aussi la fragilité des progrès. Le problème reste entier de la stabilisation de ces progrès : quelle garantie que les changements observés se maintiendront dans la pratique habituelle du professeur compte tenu des contraintes institutionnelles ?

C. Larcher.

---

**MATHY P. (1997). *Donner du sens au cours de sciences*. Bruxelles-Paris, De Boeck Université, 266 p.**

---

Pour « donner du sens aux cours de sciences », Philippe Mathy nous invite à abandonner le mythe d'un enseignement des sciences « scientifiquement correct » en ce sens qu'il serait vierge de toute idéologie. Donner du sens conduit selon lui à expliciter et exploiter les choix idéologiques et leurs conséquences ; à apprendre à les débusquer, à les décrypter aussi lorsqu'ils ne sont pas explicites. Notre société moderne, à laquelle les élèves que nous formons appartenent et dont ils seront bientôt des acteurs, est de plus en plus confrontée à des choix où les « progrès de la science » jouent le rôle d'argument d'autorité. Apprendre les sciences ne doit donc pas se réduire à une introduction aux concepts fondateurs, c'est aussi appréhender la dimension sociale et idéologique que les sciences occupent et ont toujours occupée. Voilà très brièvement résumé le propos du livre que nous offre Philippe Mathy.

Ce très bref résumé laisserait entendre qu'il s'agit là d'une sorte de pamphlet (encore un !)

dénonçant le mythe de l'objectivité des sciences et des conséquences de ce mythe dans la formation des futurs citoyens. Eh bien c'est tout à fait cela ! Car la dimension militante n'est pas absente du propos et lui confère une pugnacité stimulante. Mais c'est aussi bien davantage grâce à la qualité de l'analyse des différentes faces du problème qui fait l'objet de ce livre.

Le premier chapitre fait un état des lieux fort documenté des facteurs multiples qui doivent être pris en compte si l'on veut tenter de comprendre pourquoi le « produit » vers lequel tendent tous nos efforts (la construction d'un cours de sciences) se révèle si complexe à élaborer. Sont ainsi analysés méthodiquement, au travers d'une synthèse bibliographique qui devrait faire référence, les conceptions épistémologiques des enseignants et leurs conséquences sur les pratiques pédagogiques mises en place, les effets du discours des enseignants sur les conceptions épistémologiques des élèves, les conceptions épistémologiques implicites (le plus souvent) des manuels et des programmes d'orientation scolaires. Bouclant ainsi la boucle d'un cycle infernal où les formés deviennent eux-mêmes formateurs, producteurs de manuels et de programmes, tous véhicules d'une épistémologie empiriste, naïve quand elle n'est pas totalement désuète. Et tous unis dans le même credo que la science et ses produits sont idéologiquement neutres puisqu'ils se résument à une lecture éclairée de la nature. Le scientifique ne fait pas de choix ; ses « découvertes » ne sont que le produit de l'association d'une curiosité et d'une capacité d'analyse hors du commun.

Pour s'opposer à cet empirisme naïf omniprésent Philippe Mathy propose un certain nombre d'outils (principalement des grilles de lecture) qu'il a opérationnalisés dans des formations continues d'enseignants. Après avoir présenté le contexte qui justifie ces outils dans le second chapitre, l'auteur nous invite à passer à l'application pratique dans le troisième. Quatre thèmes servent de prétexte à cet exercice qui s'appuie très concrètement sur des extraits de manuels scolaires. Sont ainsi décortiquées et revisitées (des propositions de réécritures sont faites en fin d'analyse) la socio-histoire des sciences, la méthode scientifique, les théories de

l'évolution et la faim dans le monde. Chaque thème est introduit par une mise en perspective sociale, épistémologique, éthique qui renforce l'analyse des extraits proposés et fonde (à défaut de justifier) les propositions de réécriture.

Le premier chapitre nous propose une analyse bibliographique qui dépasse largement le cadre francophone pour explorer la bibliographie anglosaxonne ce qui est, en soi, suffisamment rare pour être signalé. L'analyse épistémologique, largement fondée sur les écrits de Gérard Fourez (bon sang belge ne saurait trahir) est conduite avec une grande rigueur tout en restant d'une lecture aisée. Les chapitres 2 et 3 replacent le discours théorique dans le champ de la formation en proposant des pistes d'action très concrètes ce qui donne un ouvrage bien équilibré, facile à lire et très astucieusement construit puisque les trois chapitres sont écrits pour pouvoir être lus indépendamment les uns des autres.

Comme c'est le propre de la qualité que de rendre le lecteur exigeant, après avoir dit tant de bien de cet ouvrage je vais me permettre de lui suggérer une suite pour exprimer une insatisfaction liée à un questionnement personnel auquel je n'ai pas trouvé réponse dans sa lecture. Philippe Mathy propose, et c'est tout à son crédit, une analyse de ce que l'on pourrait qualifier les incohérences épistémologiques de l'enseignement des sciences ainsi que des actions pour tenter d'y remédier. En dehors de la rigueur de son argumentation, démontrant le décalage existant entre l'épistémologie du système éducatif et l'analyse moderne de l'épistémologie des sciences, et de son militantisme déjà évoqué, l'auteur n'analyse pas ce qui pourrait concrètement conduire les enseignants à changer leurs pratiques. Comment faire pour que le bouleversement épistémologique que propose Philippe Mathy apparaisse, dans l'économie pédagogique d'un enseignant normal (normal au sens de T. Kuhn), comme plus avantageux que celui qu'il pratique de façon usuelle et ce dans le même cadre de contraintes ? L'étude des conceptions chez les apprenants nous a bien montré que la proposition (au sens le plus riche du terme) d'un modèle aussi performant soit-il ne suffit pas à le faire adopter en remplacement du bon vieux système explicatif



auquel on est tant habitué. Je terminerai donc par une question volontairement provocatrice : l'épistémologie constructiviste, proposée en remplacement de l'épistémologie empiriste, peut-elle dépasser le stade de « discours sur » (discours sur des textes

historiques ou sur des procédures heuristiques) pour déboucher sur une pédagogie en actes, économiquement aussi avantageuse pour l'enseignant que celle associée à l'empirisme ?

B. Darley