

**Martine MÉHEUT**


**Jacques BESANÇON et Andrée TIBERGHEN**

À l'occasion de ce numéro de *Didaskalia*, nous voudrions rappeler deux choix faits dès les débuts de la revue.

L'un concerne la rubrique «point de vue», l'autre les liens entre la didactique des sciences et les disciplines comme (par ordre alphabétique) l'épistémologie, l'histoire des sciences, l'intelligence artificielle, la psychologie ou les sciences du langage, avec lesquelles elle entretient des relations privilégiées.

Rappelons que les articles publiés dans la rubrique «point de vue» visent à présenter les idées et les choix d'un chercheur, didacticien ou d'une autre discipline, ou d'un professionnel de l'éducation, afin d'initier un débat. Ces débats sont d'autant plus importants que certains choix ne sont pas partagés par tous les chercheurs et, de ce fait, doivent être explicités. Le sujet abordé dans ce numéro, l'enseignement scientifique à l'école primaire, est objet de bien des controverses. De plus, il en associe un autre tout à fait d'actualité : quelle formation scientifique pour les professeurs des écoles ? À nouveau nous sollicitons nos lecteurs pour qu'ils nous envoient leur réaction aux points de vue présentés.

En ce qui concerne le lien entre la didactique et les autres disciplines, notre politique éditoriale actuelle est d'accepter des articles intéressants très directement les chercheurs en didactique mais qui cependant correspondent à des recherches menées dans le cadre d'une autre discipline. C'est ici le cas d'un article ayant pour origine des questions de psychologie cognitive. De tels articles, souvent à la marge des disciplines, méritent d'être connus et donc publiés. Nous avons pris cette responsabilité, nous pensons en effet que ces travaux sont susceptibles d'enrichir la didactique.



# Étude d'épreuves de physique-technologie au concours de recrutement du professorat des écoles en France

## *Que devraient savoir les candidats ?*

**Jean-Louis MARTINAND, Joël LEBEAUME**

Laboratoire Interuniversitaire de Recherche  
sur l'Éducation Scientifique et Technique  
Groupe de Didactique des Sciences et Techniques de Cachan  
École Normale Supérieure de Cachan  
61 avenue du Président Wilson  
94235 Cachan cedex, France.

### **Résumé**

*En France, la formation des professeurs des écoles à l'enseignement des « sciences et technologie » est actuellement une question importante posée aux nouveaux Instituts Universitaires de Formation des Maîtres. À partir de l'analyse des épreuves de « physique-technologie » au concours de recrutement, l'étude présentée tente d'une part d'identifier les compétences implicitement mesurées à l'issue de la première année de formation, et d'autre part d'en faire apparaître le niveau d'exigence. Après en avoir repéré les orientations majeures, l'étude suggère des perspectives pour construire la formation.*

**Mots clés :** *physique-technologie, professeurs des écoles, épreuves, formation, compétences.*

## **Abstract**

*In France, training teachers to teach «science and technology» in primary school is currently an important question for the new Instituts Universitaires de Formation des Maîtres. From the analysis of the components of the tests given in techno-physics as part of the entrance for the second year of teacher-training, this study shows the range of skills expected from the student-teachers when assessed at the end of their first year's training. The study tries to draw the main orientations and to suggest some guidelines for constructing the training.*

**Key words :** *techno-physics, primary school teachers, tests, training, skills.*

## **Resumen**

*En Francia, la formación de profesores de las escuelas de enseñanza de las «ciencias y tecnología» es actualmente una cuestión importante planteada en los nuevos Institutos de Formación de Maestros. A partir del análisis de las pruebas de «física-tecnología» en el concurso de contratación, el presente estudio intenta de una parte, identificar las competencias implícitamente medidas proveniente del primer año de formación, y por otra parte, hacer aparecer el nivel de exigencia. Después de haber localizado las orientaciones mayores, el estudio sugiere unas perspectivas para construir la formación.*

**Palabras claves :** *física-tecnología, profesor de las escuelas, pruebas, formación, competencias.*

# **1. UN CONTEXTE DE CHANGEMENT**

Depuis la rentrée 1991, un ensemble de mesures implique la réorganisation de la formation des enseignants en France. Les changements dépassent les seules substitutions de mots que sont Instituts Universitaires de Formation des Maîtres/Écoles Normales ou professeurs des écoles/instituteurs et affectent à la fois les structures, l'encadrement, les acteurs, les procédures de recrutement, l'organisation et les modalités de mise en œuvre de la formation. Ces modifications se sont progressivement inscrites dans le cadre réglementaire simultanément créé pour en assurer le guidage (circulaire du 2 juillet 1991).

## **1.1. Le recrutement des professeurs des écoles**

Le recrutement des professeurs des écoles en France se fait par voie de concours. Comme tous les concours d'accès à la fonction publique, celui-ci est ouvert à toute personne répondant aux conditions de diplôme

universitaire et de nationalité. À la session 1994 par exemple, près de 80% des lauréats étaient des étudiants en première année dans un Institut Universitaire de Formation des Maîtres (IUFM), les autres étant des candidats «libres». Les IUFM et leurs universités de rattachement dispensent ainsi une formation qui s'adresse en première année aux candidats au professorat des écoles, et en seconde année aux lauréats du concours. Ces professeurs stagiaires deviennent professeurs des écoles titulaires à l'issue de cette seconde année, après validation de leur formation.

Outre des épreuves de français et de mathématiques, les concours comportent des options. Parmi celles-ci, les candidats doivent choisir notamment entre les options histoire-géographie, biologie-géologie ou physique-technologie.

## 1.2. Les programmes de l'école élémentaire

Dans ce contexte de changement s'inscrivent également les travaux portant sur la redéfinition des programmes de l'école élémentaire et sur l'élaboration de documents d'évaluation. Ces études souhaitent mieux circonscrire le domaine «sciences et technologie» pour en rendre la pratique plus accessible. En effet, la rupture introduite par les prescriptions de 1985 qui installaient ce champ disciplinaire de «sciences et technologie» n'a pas toujours suscité l'adhésion des enseignants.

## 1.3. Un défi et des incitations

L'acculturation scientifique et technique des prochaines générations est un défi. Or la plupart des étudiants-professeurs recrutés n'ont pas reçu de formation universitaire scientifique ou technique (de 80 à 95% selon les régions). C'est pourquoi les directions des ministères ont initié, avec les IUFM, un ensemble d'actions et de réflexions permettant à la fois de réunir les formateurs, de soutenir les innovations et de promouvoir de nouveaux dispositifs de formation<sup>1</sup>.

Plus récemment, la professionnalité des enseignants a été précisée grâce au «référentiel des compétences et capacités caractéristiques d'un professeur des écoles» (Direction des Écoles, 1994) qui fixe les lignes générales du profil attendu des nouveaux enseignants.

---

1 Notamment le séminaire de réflexion «La Villette janvier 1993» conjointement organisé par la Direction des Écoles (DE) et la Direction des Enseignements Supérieurs (DESUP), ainsi que les actions inscrites au plan national de formation DE et DESUP 1993, DE 1994.

## 1.4. La conception de la formation

La formation en «sciences et technologie» doit ainsi être construite dans un contexte particulièrement complexe qui mêle les aspects institutionnels, culturels et organisationnels, le jeu des acteurs face aux changements et l'évolution interne du domaine d'enseignement. Inéluctablement, les solutions mises en œuvre dans chaque IUFM constituent des réponses qui tiennent compte des ressources humaines, des traditions et des organisations locales, afin de répondre aux exigences de l'individualisation des parcours, de l'alternance de la formation et des durées nécessairement limitées. Les décisions relatives à la construction des parcours de formation soulèvent cependant des questions plus profondes. S'agit-il de concevoir la formation comme une remise à niveau dans le champ disciplinaire ? Comme une réconciliation avec le domaine ? Comme une première expérience de son enseignement dans les trois cycles de l'école (3-6 ans, 6-8 ans, 8-11 ans) ? Selon les réponses apportées, les contenus de formation sont susceptibles d'osciller entre des conceptions qui privilégient les entrées plutôt «disciplinaires» ou plutôt «professionnelles», entre le primat des savoirs disciplinaires ou le primat de la conduite scolaire des activités. Ces positions contrastées sont exprimées par Jean Rosmorduc (1994) ou Françoise Balibar et Marina Hvass (1994) qui privilégient la maîtrise de connaissances scientifiques, alors que Jean-Louis Martinand (1994) ou Pierre Antheaume (1994) souhaitent apprendre aux professeurs des écoles à organiser les activités dans les classes. Prenant position, les propositions du Conseil national des programmes relatives aux contenus disciplinaires de formation des professeurs des écoles se prononcent pour que la formation en IUFM «*privilégie la mise en œuvre de sujets d'étude et d'activités prototypes pour la classe*» (Ministère de l'Éducation nationale, 1993).

Mais quelles sont les orientations que les formateurs, qui proposent par ailleurs les sujets de concours, développent en fait ? Dans cet article, notre ambition est d'apporter des éléments de description et d'analyse des épreuves du concours de recrutement des professeurs des écoles. Nous supposons que ces épreuves se réfèrent à des connaissances ou des compétences réputées incontournables, dont la fréquence d'apparition permet de repérer des tendances relatives aux objectifs des formateurs lors de la première année d'études en IUFM. En effet, à l'articulation des deux années de formation en IUFM, l'épreuve optionnelle de «physique-technologie» qui se compose d'un volet «disciplinaire» et d'un volet «pédagogique et didactique»<sup>2</sup> constitue une trace de l'équilibre recherché, par les auteurs des épreuves, entre ces deux facettes complémentaires de la formation des

2 Arrêté du 18 octobre 1991 (J.O. du 20 octobre 1991, cf. Recueil des Lois et Règlements 726. 1b) et note de service n° 92-069 du 27 janvier 1992.

maîtres. Notre étude tente d'une part d'identifier les compétences implicitement « mesurées » lors du recrutement des professeurs des écoles, et d'autre part d'apprécier à quel niveau se situe l'exigence après la première année d'études et ce, dans les deux volets de l'épreuve.

Toutefois, l'étude n'examine pas les modalités précises d'évaluation des candidats, ce qui exigerait notamment l'analyse des corrigés et des barèmes de notation. Par ailleurs elle n'envisage pas de repérer la variation des questions selon l'origine géographique des sujets d'épreuves. En effet, les épreuves qui émanent des travaux de jurys ou de commissions régionales sont indéniablement marquées par les interprétations « locales » de leurs auteurs.

## 2. DES ÉPREUVES RÉVÉLATRICES DES COMPÉTENCES SOUHAITÉES

L'étude porte sur trente-quatre épreuves des sessions 1992 et 1993<sup>3</sup> soit près des deux tiers de l'ensemble proposé au plan national. Cet ensemble est constitué des textes d'épreuves communiqués par les IUFM, diffusés par la Direction Générale des Enseignements Supérieurs (DGES) et présentés dans les publications spécialisées (Marchand, 1993). Ces épreuves fournissent une collection, non exhaustive mais variée, des questions auxquelles les candidats au métier de professeur des écoles sont censés être capables de répondre. Celles-ci et leurs réponses attendues sont considérées comme les éléments d'une évaluation sommative.

Considérant que l'élaboration de ces épreuves repose sur un ensemble de connaissances, de capacités ou de compétences non explicitées, l'analyse est guidée par l'intention de les mettre au jour, puis d'en estimer les tendances majeures. À cet égard, le contenu des questions a été analysé en identifiant les savoirs et les capacités manifestement attendues. Les objectifs ainsi reconstruits à partir des questions, dans les situations décrites par les épreuves, ont été ensuite regroupés puis rangés dans des catégories suffisamment contrastées pour que, du point de vue quantitatif, des tendances soient visibles. Cette catégorisation a pris en compte les trois aspects essentiels, disciplinaire, pédagogique et didactique. L'analyse a été effectuée d'abord sur les trois quarts du corpus. Le traitement du quart restant a ensuite permis de constater la validité des critères du rangement proposé.

---

3 Session 1992 : Aix-Marseille, Amiens, Antilles-Guyane, Bordeaux, Caen, Corse, Dijon, Grenoble, La Réunion, Montpellier, Nantes, Nice, Orléans-Tours, Paris, Poitiers, Reims, Rouen, Strasbourg, Versailles, deux sujets sans référence.

Session 1993 : Caen, Clermont-Ferrand, Dijon, La Réunion, Montpellier, Nantes, Orléans-Tours, Paris, Poitiers, Reims, Rennes, Versailles, un sujet sans référence.

L'étude s'intéresse d'abord à décrire la diversité des formes des épreuves et à en repérer les orientations majeures, dans la double articulation de la formation théorique et pratique, ainsi que dans les relations entre sciences physiques et technologie.

### **3. DES FORMES DE SUJETS CONTRASTÉES**

#### **3.1. L'articulation théorie-pratique**

L'articulation théorie-pratique est une question que toute épreuve doit affronter. La structure de la plupart d'entre elles semble dictée par les rubriques du texte réglementaire. Elles évaluent d'abord la maîtrise des contenus à enseigner puis questionnent les pratiques pédagogiques. En revanche, quelques-unes (2 sur 34) mettent l'accent sur la professionnalité des candidats en les confrontant d'emblée avec une situation d'enseignement et en abordant tour à tour des questions qui relèvent de la connaissance du champ disciplinaire et de son enseignement.

#### **3.2. Les relations sciences physiques – technologie**

La structure et le contenu des épreuves expriment manifestement la conception des relations entre les sciences physiques et la technologie. Par leur intitulé et leur organisation, certaines sont ainsi composées de deux «sous-épreuves», l'une de sciences physiques, l'autre de technologie, avec pour chacune d'elles, les deux parties fixées par le cadre réglementaire. D'autres ne sont en revanche que des exercices ou des problèmes de sciences physiques dans lesquels le point de vue technologique est absent. La dimension technologique correspond le plus souvent à la fabrication d'un objet ou d'une maquette qui renvoient aux activités physico-technologiques des anciens programmes de 1980, ou aux unités de formation «mathématiques-technologie» des anciens programmes de formation des maîtres de 1979. Cette dimension technologique se marque parfois par l'emploi des concepts de fonction ou de lignée, par des demandes de classement chronologique d'objets ou de caractérisation de la fonction globale ou de la fonction technique d'appareils ou d'éléments. Quelques épreuves se réfèrent plutôt aux pratiques du collège (11-15 ans) en insistant sur les étapes de la démarche technologique, sur l'expression fonctionnelle du besoin ou l'utilisation de l'outil de conception qu'est le «diagramme pieuvre»<sup>4</sup> représentant les relations du produit avec son environnement.

---

4 Représentation graphique d'après la norme (AFNOR X50 150)

Épreuves de sciences physiques sans technologie	Épreuves composées de deux sujets distincts	Épreuves de physique-technologie	Total
9	15	10	34
25 %	45 %	30 %	100 %

## 4. DES SÉRIES DE QUESTIONS OU DES PROBLÈMES

### 4.1. Une juxtaposition

Les épreuves se distinguent aussi par la nature des questions et les thématiques abordées. Il existe ainsi des «sujets panoramiques» qui interrogent les candidats sur les différents points du programme de l'école par une série de questions juxtaposées. D'autres, assez distants des programmes de l'école élémentaire, se présentent comme les sommaires partiels d'ouvrages de lycée et sondent les connaissances des candidats, des équations des réactions nucléaires à la loi d'Ohm, en passant par le calcul du bilan énergétique d'une machine thermique ou l'énoncé de la troisième loi de Kepler.

Un peu moins dispensées, certaines épreuves dont les deux volets, disciplinaire et pédagogique, sont disjoints, permettent de mesurer les connaissances des candidats dans deux domaines particuliers.

### 4.2. Une intégration

D'autres épreuves sont des «sujets thématiques» qui n'abordent qu'un domaine en associant des questions portant d'abord sur les connaissances disciplinaires et ensuite sur la mise en œuvre des activités correspondantes à l'école. Il s'agit par exemple, après l'étude de données relatives à l'astronomie, de solliciter la réflexion sur une exploitation pédagogique que peut être la réalisation d'une maquette de cadran solaire équatorial. Ou bien à propos de l'étude des circuits électriques, d'analyser la conception et la réalisation de jeux électriques.

Ces «sujets thématiques» tentent d'intégrer les connaissances disciplinaires aux préoccupations d'enseignement. Ils sont le plus souvent fondés sur une conception de la technologie comme application de la connaissance scientifique, ou illustration des vérités scientifiques. Certaines épreuves rompent ces relations de dépendance. Les «sujets combinés



ou intégrés» sont alors construits autour d'une réalisation scolaire qui est à la fois un sujet d'étude et un support d'enseignement. Par exemple, un véhicule solaire extrait d'un manuel du cycle 3 (8-11 ans) offre l'occasion d'interroger le candidat sur la chaîne des transformations énergétiques ou sur l'interprétation de la courbe de réponse spectrale d'une photopile au silicium amorphe, d'évoquer les grandeurs physiques, de faire décoder des schémas électriques ou mécaniques, préciser le rôle des composants, en justifier le choix selon leurs caractéristiques, suggérer les adaptations nécessaires pour atteindre les performances consignées... De même la définition du cahier des charges d'une maquette de manège est-il le moyen de repérer les connaissances dans le domaine de l'électricité, de percevoir la maîtrise des représentations ou des codages, ou encore la connaissance des composants et des lois fondamentales.

Ces différences entre les sujets mettent en évidence des significations variées des tâches dans les activités scientifiques et techniques de l'école. Pour les uns, les connaissances se présentent comme des énoncés en soi, pour les autres elles sont des réponses à des problèmes inscrits dans un contexte. Dans la mesure où ces épreuves sont susceptibles de modéliser les représentations des professeurs-stagiaires, on peut prévoir les formes et contenus très contrastés de l'enseignement qu'ils dispenseront.

### **4.3. Des thèmes d'études privilégiés**

Parmi les thèmes abordés dans les épreuves étudiées, certains apparaissent avec une fréquence plus ou moins importante. Ainsi les épreuves abordant l'électricité sont-elles les plus nombreuses : trois épreuves sur cinq s'y réfèrent. Près d'une épreuve sur deux traite de l'astronomie ou de l'étude de la mécanique. En revanche les thèmes de la matière, de l'énergie n'apparaissent que dans une épreuve sur sept. Enfin d'autres thèmes, tels que la communication technique, les processus de transformation des produits, les réactions chimiques, ne se signalent que d'une façon isolée.

La priorité accordée aux domaines de la mécanique, de l'électricité et de l'astronomie peut sans doute s'expliquer par les contraintes de l'épreuve écrite, mais elle correspond aussi aux activités scolaires les plus souvent conduites dans les classes.

## 5. DES CONNAISSANCES DISCIPLINAIRES

### 5.1. Une connaissance des thèmes des programmes

Réussir l'épreuve nécessite de connaître les différents thèmes figurant dans les programmes de l'école élémentaire avec leurs spécificités : vocabulaire, concepts, objets et matériel, codes et langages. Ainsi un candidat doit-il savoir distinguer les solstices des équinoxes, différencier force électromotrice et tension, définir les caractéristiques nominales d'une lampe, opposer évaporation et condensation..., connaître le sens de locutions comme cahier des charges, temps universel... Saisir les questions consiste à en comprendre le sens dans le registre du vocabulaire spécialisé ; par exemple : «*On dispose d'une pile de f.e.m. 4,5V et de résistance interne négligeable, d'une diode électroluminescente (LED) rouge et d'un résistor montés en série. En utilisant la loi des tensions et les caractéristiques de la LED, calculer la valeur théorique de la résistance  $R_1$  du résistor lorsque l'intensité dans le circuit est de 20 mA*». Cette familiarité avec les mots est parfois évaluée par une question centrée sur le repérage des informations majeures d'un texte ou d'un document.

Une familiarité avec les objets ou le matériel apparaît également nécessaire pour traiter les questions posées. Les épreuves supposent que les candidats ont réalisé des constructions électriques avec les composants électriques, électroniques ou électromécaniques figurant dans les programmes de 1985. Ils doivent être capables d'utiliser ces objets dans divers montages. Il en est de même pour le domaine de la mécanique qui fait référence le plus souvent aux transmissions et aux transformations de mouvements et aux organes assurant les fonctions techniques. Les candidats doivent aussi avoir observé l'évolution dans le temps de l'ombre portée d'un gnomon, les variations de température de la glace dans différents contenants... Les épreuves supposent qu'ils ont pratiqué cet ensemble d'activités, qu'ils savent organiser dans le temps une fabrication et en sérier les étapes.

L'étude des épreuves montre aussi que les candidats ont dû se familiariser avec un ensemble de représentations que sont les dessins, les schémas conventionnels, les courbes de caractéristiques électriques courant/tension, éventuellement les «documents constructeurs ou commerciaux». Au-delà de l'analyse des schémas fournis, les candidats sont souvent conduits à effectuer des représentations qui se rattachent au dessin et au schéma. Les représentations graphiques sont presque exclusivement celles utilisées dans les classes élémentaires. Ainsi les objets représentés sont-ils essentiellement des vues en perspective ou des dessins ombrés extraits d'ouvrages pour enfants ; il s'agit parfois de

documents historiques. Parmi les épreuves consultées, aucune ne propose un dessin technique avec des sections, des cotations ou des tolérances dimensionnelles. N'apparaissent pas non plus les représentations des circuits électriques selon les modèles de Norton ou de Thévenin...

Les candidats doivent aussi être familiarisés avec des lois, principes, concepts et méthodes. Un candidat ne peut ignorer par exemple les machines simples, les changements d'état de la matière, les lois des montages en série et en parallèle, les mouvements relatifs des astres, les notions de rendement, de puissance, de fonction technique... Au plan méthodologique, il doit aussi pouvoir montrer qu'il connaît la démarche scientifique en mentionnant par exemple les paramètres en jeu dans une expérimentation. Il doit aussi attester de sa capacité à représenter graphiquement des données numériques et à interpréter des courbes.

## 5.2. Des opérations arithmétiques

La cohérence des épreuves qui développent surtout l'approche attrayante des sciences et de la technologie, caractéristique à l'école élémentaire, apparaît dans la sélection des compétences en mathématiques. En effet, les candidats sont conduits à effectuer des applications de formules qui, sauf exception, ne sont que  $U = RI$ ,  $P = UI$ ,  $N1 \times Z1 = N2 \times Z2$ ,  $P = Mg$ . Parfois un calcul d'échelle, de rapport de transmission ou de braquet, voire d'un pourcentage ou d'un rapport trigonométrique sont exigés. En revanche, la mise en équation d'une situation ou un calcul différentiel ne sont jamais demandés.

## 5.3. Une épreuve de spécialité

L'option «sciences physiques et technologie» du concours apparaît indéniablement comme une épreuve de spécialité qui requiert une familiarité avec les thèmes des épreuves ; cela exige une préparation spécifique, pour voir ou revoir les notions antérieurement étudiées. Les épreuves demandent d'être capable de répondre à des questions dont le niveau peut surprendre ou déconcerter un étudiant titulaire d'une licence d'ingénierie électrique ou de physique, comme par exemple lorsqu'il faut compléter la nomenclature descriptive d'une lampe. Elles supposent aussi une expérience de la pratique des réalisations présentées dans les manuels scolaires de l'école élémentaire, pour être notamment capable de déchiffrer les solutions techniques retenues pour les classes.

## 6. DES COMPÉTENCES PROFESSIONNELLES

L'étude du second volet de l'épreuve, effectuée grâce à l'analyse qualitative et quantitative de l'ensemble des questions, présentée sur le tableau figurant en annexe, met en évidence d'autres tendances. Variant entre trois et douze questions, avec une moyenne se situant à six, ce second volet révèle des différences majeures dans la forme des questions. Largement ouvertes ou au contraire très fermées, les deux cents questions recensées se réfèrent à un ensemble de documents pour la classe : elles visent à mettre à l'épreuve les connaissances ou les compétences «professionnelles».

### 6.1. La référence aux manuels scolaires

Presque tous les sujets font appel à une analyse, un commentaire ou une critique de pages de manuels le plus souvent du cycle 3 (8-11 ans), éventuellement de pages d'ouvrages de vulgarisation pour enfants (*Comment ça marche, Argonaute...*). Plus rarement, le document support est la page d'un cahier d'élève ou les traces du déroulement d'un enseignement. Les autres documents qui se mêlent parfois aux traces pédagogiques sont des extraits d'ouvrages spécialisés, de documentations publiées par des institutions ou des organisations professionnelles (Électricité De France, Centre d'Études et de Documentation du Sucre...) ou la presse écrite.

### 6.2. Trois registres de questionnements

Du point de vue qualitatif, le contenu des questions est nuancé, mettant le candidat en présence d'**une classe**, d'**un élève**, d'**une progression** ou d'**un déroulement pédagogique**, ou bien d'**un savoir construit ou transposé**. Les questions peuvent ainsi être regroupées en trois classes suffisamment contrastées pour faire apparaître les tendances de l'ensemble des épreuves. Les premières sont très proches du premier volet de l'épreuve et font référence à l'analyse du savoir en jeu dans les situations scolaires ; les secondes interrogent les candidats sur l'élaboration et l'appropriation des connaissances ; les troisièmes portent plus particulièrement sur les connaissances pédagogiques relatives à des situations de classe.

### 6.2.1. Analyse globale

Le tableau ci-dessous exprime la répartition des questions selon les trois registres identifiés :

Questions relatives aux contenus disciplinaires : A	Questions relatives à l'élaboration et à l'appropriation des connaissances : B	Questions relatives aux situations de classe : C	Total
45	22	133	200
20 %	10 %	70 %	100 %

Quantitativement les questions relevant des compétences professionnelles liées aux situations d'enseignement sont majoritaires. En revanche celles qui portent sur les situations d'apprentissage apparaissent d'une façon très minoritaire. La variété des registres dans une même épreuve est présentée dans le tableau suivant.

A et C	C	A et B	B et C	A, B et C	Total
14	10	1	4	5	34
40 %	30 %	3 %	12 %	15 %	100 %

Toutes les épreuves font ainsi référence à la pratique des activités en classe. Ces questions sont généralement associées à quelques interrogations complémentaires sur les notions, leur nature et leur apprentissage. Les questions les moins nombreuses, relatives à l'élaboration des savoirs et à leur apprentissage, apparaissent cependant dans près d'un sujet sur trois. Un peu plus d'un sujet sur dix comporte des questions classées dans les trois registres. Par exemple, dans un sujet composé de deux parties distinctes, l'une relative aux changements d'états de l'eau et l'autre relative à une réalisation de mobiles, il est demandé :

– d'énumérer les « connaissances dans le domaine des sciences qui seront abordées avec les enfants à travers cette activité »,

– de « déterminer les étapes d'une démarche de classe qui prenne en compte les deux phases d'exploration et de réalisation »,

– ou de réagir aux situations suivantes.

*« Des pratiques familières (suspendre le linge, utiliser un sèche-cheveux...) montrent que la vitesse d'évaporation de l'eau peut être accélérée ou retardée. Quelles sont d'après vous les variables (ou facteurs) sur lesquelles on peut agir pour faire varier cette vitesse ? Pour établir qu'une variable est reliée à un effet, on peut expérimenter :*

*décrivez à l'aide de schémas comment vous procéderiez pour établir que la vitesse d'évaporation de l'eau dépend des variables que vous avez citées ci-dessus.»*

*«Pour faire prendre conscience à ses élèves que la substance et la masse se conservent au cours de l'évaporation de l'eau, un maître donne à ses élèves les informations suivantes :*

- l'eau est formée de grains très petits (non visibles) tous identiques ; ils ont la même forme, la même masse, le même volume ;*
- leurs dimensions ne peuvent varier ;*
- ils sont incassables.*

*En utilisant les informations précédentes, représentez une certaine masse d'eau qu'on vient de verser dans un récipient. Représentez cette même eau après qu'une partie d'elle s'en soit évaporée. Montrez (à l'aide de vos deux dessins et des informations données ci-dessus) comment le maître peut atteindre son objectif.»*

### **6.2.2. Questions relatives aux savoirs disciplinaires**

Les questions de la partie pédagogique qui se réfèrent aux savoirs scientifiques et technologiques tels qu'ils fonctionnent au niveau de l'école peuvent être regroupées en deux catégories distinctes : les connaissances et les aspects méthodologiques. Les questions portant sur les connaissances sont très voisines de celles émises dans le premier volet de l'épreuve. Il s'agit par exemple de présenter des données sous forme d'un tableau, de proposer une modification pour améliorer un dispositif ou un objet, de fournir une explication sur un phénomène constaté, de repérer les invariants (concepts ou principes) à partir de l'analyse comparative de documents ou de situations, ou de lister les connaissances, les notions ou les contenus abordés dans une situation de classe. Les questions sur des aspects méthodologiques portent en grande majorité sur la «méthode expérimentale». Le candidat doit suggérer un dispositif expérimental, établir une série d'expériences, imaginer des situations propices à l'émission d'hypothèses. Les formulations des questions sont ancrées sur des problèmes d'ordre pédagogique, comme par exemple lorsqu'il s'agit de suggérer une activité de classe pour récupérer le sel parmi les débris de verre après la chute d'une salière. Dans cette catégorie de questions d'ordre méthodologique, il est parfois demandé de décrire la «démarche technologique» et d'en énumérer les étapes. Une telle demande d'énumération apparaît en revanche plus rarement pour la démarche scientifique.

### ***6.2.3. Des questions pédagogiques***

Les compétences professionnelles évaluées semblent se rapporter avant tout à la préparation d'activités en classe et aux capacités d'anticipation que cela suppose. Le classement des questions, présenté dans le tableau joint en annexe, révèle une focalisation sur les tâches des élèves. Les questions concernent la connaissance des textes réglementaires, les documents supports des activités des élèves, les exploitations pédagogiques d'un thème d'étude, les progressions ou les déroulements possibles, les préparations d'une ou de plusieurs séquences d'enseignement-apprentissage.

L'effet de zoom sur les propositions de pratiques scolaires indique une centration majoritaire sur des «séquences». Généralement, il est demandé de rédiger une fiche de préparation de séquence en définissant le ou les objectifs visés, en distinguant parfois ceux qui relèvent de la technologie et ceux qui relèvent des sciences, et en précisant la démarche mise en œuvre, les évaluations envisagées et les compétences développées. Des suggestions de progression, de prolongements, et même d'un canevas de séquences inscrites dans un projet de classe sont aussi demandées ; ainsi que les matériels et matériaux nécessaires, le déroulement et l'organisation de la classe, les moments de structuration des connaissances ou les traces des activités des élèves. Parfois, le candidat doit établir un document pour les élèves destiné à la réalisation d'une tâche en autonomie ou bien à l'évaluation de la séquence. À cet égard, les documents relatifs à des réalisations d'objets sont deux fois moins nombreux que ceux relatifs à des descriptions d'activités.

Implicitement, les questions supposent donc la familiarité des candidats avec la conduite des activités scientifiques et techniques dans les classes de la fin du cycle 2 (8 ans) à la fin du cycle 3 (11 ans), tant du point de vue de l'organisation matérielle que du point de vue des méthodes pédagogiques.

### ***6.2.4. Des réflexions didactiques***

Outre ces questions centrées sur la pédagogie des «sciences et technologie» à l'école élémentaire, quelques sujets se réfèrent à des compétences professionnelles plus directement centrées sur l'appropriation des connaissances par les enfants. Ainsi, une compétence épistémologique apparaît-elle dans des épreuves dans lesquelles il est demandé par exemple d'**expliquer** l'interprétation archaïque par les chinois du «toit du ciel», ou d'**argumenter** l'orientation privilégiée de l'approche de l'énergie à l'école par la mise en évidence de ses différentes formes et par l'écriture des chaînes de transformation. Dans une autre épreuve, les candidats doivent

**justifier** la représentation graphique d'une mesure en classe de l'écoulement de l'eau d'une clepsydre (cf. loi de Torricelli) en se référant à un texte qui propose une analyse des recherches de Galilée sur la chute des corps et qui explique la marche de sa pensée.

Les **représentations des enfants** et leur prise en compte pour la gestion des apprentissages sont également évoquées dans quelques épreuves. Par exemple, le candidat est interrogé sur l'exploitation de dessins ou de commentaires d'enfants : *«avec deux grandes roues, cela tourne plus vite», «il faut mettre une grosse roue en premier, une moyenne au milieu et deux plus petites en dernier»...* *«C'est quand la terre se rapproche du soleil qu'il fait plus chaud : c'est l'été. Quand elle est plus éloignée : c'est l'hiver.»...* *«Avec la mine (de crayon), l'ampoule s'éclaire mal. Si ça marche, la mine laisse passer le courant»...*

Ces questions qui relèvent du registre de la didactique des «sciences et technologie» supposent des compétences professionnelles de l'enseignant des écoles capable d'**intervenir** explicitement dans les situations de classe à partir de l'étude diagnostique des propositions enfantines, du repérage des obstacles et des références épistémologiques des savoirs enseignés.

## 7. PERSPECTIVES

### 7.1. Rendre intelligibles les situations d'enseignement-apprentissage

La mise à plat d'un échantillon de sujets montre que les candidats au professorat des écoles doivent faire preuve de leur connaissance des domaines abordés à l'école élémentaire et des pratiques scolaires s'y référant. Au-delà du repérage de la conformité des épreuves aux textes les définissant, il est possible de caractériser les compétences recherchées et évaluées telles qu'elles apparaissent dans les sujets les plus intégrés, dont la construction propose des **perspectives nouvelles**. Plus que d'être capable de résoudre des exercices, un candidat au professorat des écoles doit alors répondre à une série de questions imbriquées afin de montrer le caractère fonctionnel des savoirs acquis. Mais les deux parties de l'épreuve semblent en définitive vouloir apprécier sa compétence à **lire** des situations d'enseignement-apprentissage du domaine «sciences et technologie». Les épreuves permettent d'apprécier la maîtrise des connaissances disciplinaires, pédagogiques et didactiques rendant intelligibles les situations scolaires qu'évoquent les documents fournis. En ce sens, le niveau d'exigence des épreuves du concours ne suppose pas la maîtrise des pratiques



de classe, mais celle des outils pour penser les situations d'enseignement-apprentissage dans le cadre réglementaire et le contexte habituel de leur mise en œuvre.

Cette performance mesurée à la fin de la première année de formation ne correspond cependant qu'à un aspect de la formation professionnelle, celui qui relève du registre de l'observation des séquences de classe et de leur interprétation. Indéniablement cette initiation doit être poursuivie et orientée pour rendre les professeurs-stagiaires capables de conduire de telles activités dans les classes, pour les faire passer d'un point de vue de «spectateur» à celui d'«acteur» (voir notamment Pelpel, 1989).

## 7.2. Agir dans les classes

À l'époque des premières esquisses de la redéfinition de la formation des maîtres, le rapport Bancel (1989) mentionnait dans son introduction que «*l'objectif d'une véritable formation doit être de faire acquérir aux futurs enseignants [...] des compétences correspondant véritablement aux activités concrètes qu'ils devront assumer dans les divers établissements où ils seront affectés*». Trois pôles de connaissances permettaient de délimiter «*les contours d'une professionnalité globale*» : celui constitué par les connaissances relatives aux identités disciplinaires, celui constitué par les connaissances relatives à la gestion des apprentissages et celui constitué par les connaissances relatives au système éducatif. Cette perspective aménageait le schéma antérieur de la formation des instituteurs composée d'unités de formation dont les contenus s'organisaient plus particulièrement autour de la discipline enseignée à l'école, de la connaissance de l'enfant et des pratiques pédagogiques<sup>5</sup>. Ainsi, parmi les compétences professionnelles précisées par le rapport Bancel, l'organisation d'un plan d'action pédagogique précède-t-elle la préparation et la mise en œuvre d'une situation d'apprentissage, alors que cette préparation constituait le point central des orientations antérieures.

Ce changement d'architecture de la formation est examiné par J.-L. Martinand (1994) qui suggère que la didactique soit envisagée comme discipline de formation dans une triple orientation à la fois «*praticienne*», «*normative*», «*critique et prospective*». Il s'agirait alors d'appliquer cette proposition à la discipline scolaire «*sciences et technologie*» avec ses spécificités à l'école élémentaire afin de structurer la formation, en mettant l'accent sur la maîtrise des actes professionnels qui consistent à établir et à organiser les rapports des élèves aux contenus d'enseignement.

---

5 cf. schéma-type d'une unité de formation de «didactique» in Direction des Écoles (1979). *Formation initiale des instituteurs*. Fiche III-1 réf. : arrêté du 25/06/79 et circulaire du 26/06/79. Paris, Ministère de l'Éducation nationale.

Comme le montrent les épreuves examinées, le concours permet d'attester l'acquisition de connaissances utiles à l'interprétation des situations scolaires. Se posent alors, pour la formation, des questions relatives d'une part aux conditions de la mise en relation des connaissances disciplinaires, pédagogiques et didactiques dans l'action d'enseigner, et d'autre part aux ruptures qu'implique le passage du registre du «savoir dire comment faire» au registre du «savoir faire». Il s'agit maintenant de mieux fixer les objectifs des deux années de formation, ainsi que de préciser le rôle des formateurs dans les différents moments de la formation (stages de pratique accompagnée ou en responsabilité, regroupements réflexifs). Les données de notre étude montrent en effet que si les formateurs sont sensibles à ces problèmes, on est encore loin d'une pratique stabilisée et satisfaisante de la formation des professeurs des écoles et de l'évaluation pour leur recrutement.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANTHEAUME P. (1994). Situations didactiques ponctuelles et formation professionnelle. In *Sciences et techniques, quelles activités ? quels acteurs ?* IUFM Créteil, pp. 10-27.
- BALIBAR F. & HVASS M. (1994). La physique et les futurs professeurs des écoles. *Didaskalia*, Supplément au n° 3, pp. 9-14.
- BANCEL D. (dir.) (1989). Créer une nouvelle dynamique de la formation des maîtres. In *Les IUFM - Sélection des textes officiels*. Document d'information, 2 février 1991. Paris, MEN-DIC, pp. 19-51.
- DIRECTION DES ÉCOLES (1994). *Référentiel des compétences et capacités caractéristiques d'un professeur d'école*. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.
- MARCHAND F. (1993). *Concours de professeur des écoles. Sujets et corrigés*. Paris, Vuibert, pp. 301-354.
- MARTINAND J.-L. (1994). Les sciences à l'école primaire : questions et repères. In B. Andriès & I. Beigbeder (dir.), *La culture scientifique et technique des professeurs des écoles*. Paris, Hachette, CNDP, pp. 44-54.
- MARTINAND J.-L. (1995). Observer-Agir-Critiquer. L'enseignement des sciences expérimentales à l'école élémentaire. In *Actes des Journées Paul Langevin 94*. Brest, Université de Bretagne Occidentale, pp. 13-18.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE. (1993). *À propos des contenus disciplinaires de formation des professeurs des écoles en Institut Universitaire de Formation des Maîtres. Déclaration du Conseil national des programmes*. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.
- PELPEL P. (1989). *Les stages de formation*. Paris, Bordas.
- ROSMORDUC J. (1994). Quelle formation scientifique des maîtres de l'école élémentaire ? *Nous voulons lire !*, n° 103, pp. 24-32.

## ANNEXE

## Tableau récapitulatif de l'analyse des questions

	questions	nombre	%	%			
connaissances disciplinaires	application-investissement	5	11 %	45 %		20 %	
	concepts-principes	8	18 %				
	contenus, notions présents	7	15 %				
connaissances méthodologiques	méthode expérimentale	17	38 %	55 %			
	étapes de la dém. scientifique	2	4 %				
	étapes de la dém. technologique	6	13 %				
total		45	100 %	100 %			
connaissances didactiques	représentations	6	27 %			10 %	
	appropriation du savoir	3	14 %				
	élaboration du savoir	13	60 %				
total		22	100 %				
programmes	situer le cycle, la classe ou le niveau de l'enseignement	13	10 %	10 %	10 %	70 %	
thème ou sujet d'étude	énumérer les exploitations pédagogiques	17	13 %	21 %	20 %		
	suggérer déroulement pédagogique progressions, élargissements	11	8 %				
séquence d'enseignement	décrire la démarche pédagogique, rôle du maître et des élèves	35	26 %	28 %			
	prévoir l'organisation matérielle de la classe	3	2 %				
intentions pédagogiques	définir les objectifs de la séquence	21	15 %	18 %	70 %		
	évaluation	3	2 %				
tâches des élèves	produire un document pour les élèves	14	11 %	22 %			
	critiquer ou choisir un document pour les élèves	6	4 %				
	proposer ou critiquer des matériels didactiques	10	8 %				
total		133	100 %	100 %	100 %		
TOTAL		200					100 %

# Les analogies dans l'acquisition de concepts en biologie chez des élèves de 10-11 ans

**Marie-Dominique GINESTE**

Groupe Cognition Humaine  
LIMSI  
91403 Orsay cedex, France.

Laboratoire de Psychologie  
Université Paris-Nord  
93430 Villetaneuse, France.

**Laurent GILBERT**

Psychologue scolaire  
Réseau d'Aides Spécialisées aux Élèves en Difficulté  
95000 Argenteuil, France.

## **Résumé**

*Cette étude est consacrée à l'analogie comme procédé pédagogique pour des leçons dont le domaine ne peut pas être appréhendé par une observation directe. Deux thèmes ont été retenus : les constituants de la cellule et les échanges gazeux dans le sang. La modalité choisie pour les analogies fut l'illustration, les correspondances avec le thème étant ou non explicitées aux élèves. Il apparaît que les analogies illustrées, notamment commentées, favorisent l'acquisition des connaissances. On insiste sur les exigences cognitives requises pour assurer la fécondité des analogies.*

**Mots clés :** *analogies illustrées, mémorisation, élèves 10-11 ans.*

## **Abstract**

*This study is concerned with analogy as a tool for teaching, as in some cases a new domain of knowledge cannot be grasped by a direct observation. Two themes have been selected : components of a living cell and exchanges in the blood. The mode chosen for analogy was illustrations, correspondences between illustrations and themes being made explicit or not to pupils. It appears that pictorial analogies, especially analogies with comments, enhance acquisition of the domains. We have focused on the cognitive requirements in order to insure success in the use of analogies.*

**Key words** : pictorial analogies, memorisation, pupils.

## **Resumen**

*Este estudio está consagrado a la analogía como proceso pedagógico en lecciones donde el dominio no puede ser aprehendido por una observación directa. Dos temas han sido seleccionados : los componentes de la célula y los cambios gaseosos en la sangre. La modalidad seleccionada para las analogías fue la ilustración, las correspondencias entre ilustración y tema siendo o no explicitadas a los alumnos. Pareciera que las analogías ilustradas y comentadas, favorecen la adquisición de conocimientos. Se insiste sobre las exigencias cognitivas requeridas para asegurar el éxito en el uso de las analogías.*

**Palabras claves** : analogías ilustradas, memorización, alumnos entre 10 y 11 años.

L'analogie suscite, depuis une dizaine d'années, de nombreuses études expérimentales : la fonction qu'on lui reconnaît est de faciliter la réalisation, par l'homme, enfant ou adulte, expert ou novice, de tâches cognitives, dont la variété s'étend de la résolution de problèmes (pragmatiques, mathématiques, de physique), à la mémorisation d'informations, ou bien à l'acquisition de connaissances nouvelles.

Dans cet article, est présentée une expérimentation dont l'objectif est de décrire des connaissances élaborées par les élèves à l'aide des analogies comparativement à celles d'élèves n'ayant pas disposé de cet outil, et d'évaluer la solidité de ces connaissances et leur résistance dans le temps. Cette expérience s'est déroulée au sein de l'école, parallèlement à la classe, en respectant les contraintes liées aux hypothèses de travail ; elle présente un caractère quasi pédagogique dans le sens où ont été recréées les conditions de travail scolaire en petits groupes d'élèves. L'un des thèmes choisis, le rôle des globules rouges dans les échanges gazeux, figurait au programme scolaire des enfants bien que leur maître ne l'ait pas encore traité en classe. L'autre thème concernait la structure de la cellule ; il n'appartenait pas au programme scolaire de nos sujets.

## 1. LES FONCTIONS COGNITIVES DE L'ANALOGIE

L'ensemble des études expérimentales de l'analogie s'appuie sur deux conceptions, la théorie de la projection de structures de Gentner (1983, 1989), et la théorie de l'abstraction de schéma formulée par Holyoak (1984, 1990). Selon Gentner, dans le traitement de situations nouvelles (problèmes ou connaissances à acquérir), l'analogie est bénéfique dans la mesure où le sujet qui traite cette information applique au domaine nouveau les caractéristiques structurales du domaine connu. Holyoak, quant à lui, insiste sur les activités d'abstraction et de généralisation présidant à l'élaboration de schémas cognitifs, dégagés des caractéristiques spécifiques des situations particulières et qui seraient récupérés par le sujet dans le traitement de situations nouvelles, en l'occurrence, chez Holyoak, de problèmes.

Quelques propositions supplémentaires sont néanmoins avancées. On peut les ramener à deux hypothèses théoriques générales, l'une considérant que les analogies fonctionnent comme des «*organiseurs de haut niveau*» (Halpern, 1987 ; Halpern et al., 1990), et l'autre, que l'analogie ramène l'information nouvelle à un niveau plus concret que ne le fait une présentation littérale (Donnelly & McDaniel, 1993 ; Duit, 1991 ; Issing, 1990 ; Petrie, 1993).

Concernant la première hypothèse, l'idée est que les analogies contribuent à une bonne élaboration des représentations lors de l'encodage (Schustack & Anderson, 1979). Pour Hayes et Tierney (1982), la connaissance ancienne et analogue augmente l'activité inférentielle du sujet : en effet, elle aide à recouvrer plus d'éléments du texte qui présente la connaissance nouvelle. En fait, si l'on observe un plus grand nombre d'inférences dans les situations où une analogie est présente, comparativement aux cas où il n'y a pas d'analogie, cela pourrait être imputable, selon ces auteurs, au fait que le sujet dispose dans sa mémoire d'une représentation plus achevée de l'information nouvelle.

La seconde hypothèse concerne le niveau de concrétude ou d'abstraction de l'information nouvelle. Les arguments qui sont développés et puisés dans les travaux de Paivio (1971, 1986), assignent aux analogies un rôle similaire à celui des illustrations, à savoir représenter, de façon plus ou moins concrète, l'information contenue dans un texte.

En fait, une telle argumentation a été développée à partir de situations expérimentales dans lesquelles on adjoint au texte présentant une information nouvelle soit des illustrations analogiques (Issing, 1990), soit des références à une connaissance ancienne et familière relevant d'expériences quotidiennes.

Dans le premier cas, les illustrations, représentant d'autres domaines, sont supposées avoir une double fonction. Le dessin, qui matérialise une connaissance familière, en facilite le recouvrement. De plus, au-delà du support figuré, **il évoque la notion particulière et cognitivement utile** pour traiter la connaissance nouvelle et la conserver en mémoire.

Dans le second cas, l'évocation de connaissances familières et analogues appartenant aux expériences quotidiennes plus concrètes, favoriserait la formation d'images, ce qui facilite chez l'élève la compréhension de concepts abstraits. On retrouve là les mêmes effets facilitateurs des illustrations analogiques.

Peut-on alors affirmer que d'une manière générale, les analogies aident à l'acquisition de connaissances parce qu'elles servent à «rendre» concrets des concepts nouveaux et à leur donner de ce fait une «existence perceptible» ?

C'est dans ce contexte théorique que nous insérons notre travail. Nous nous sommes intéressés à l'acquisition de connaissances qui ont la particularité de ne pas pouvoir être élaborées par l'expérience perceptive individuelle. En particulier, nous avons cherché à cerner le rôle cognitif des analogies illustrées dans la mémorisation de concepts nouveaux, par des jeunes élèves de 10-11 ans en CM2 (cours moyen deuxième année, dernière année de l'école élémentaire en France).

## 2. L'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE PROPREMENT DITE

À cet âge, l'enfant est bien installé dans un stade à «*prépondérance intellectuelle*» (Tran-Thong, 1971) au cours duquel la fonction catégorielle s'instaure de façon définitive. En effet, c'est durant cette période que l'enfant devient capable de définir les objets (Wallon, 1945), de les classer selon un seul critère (classification simple) ou selon plusieurs critères (classification complexe), de les ordonner (sériation) et de les dénombrer (Piaget & Inhelder, 1947). Avec l'avènement de la pensée catégorielle, «*c'est la capacité de varier les classements selon les qualités des choses, de définir leurs différentes propriétés*» (Wallon, 1956) qui s'établit. On assiste durant cette phase de développement à la dissociation, par l'enfant, entre les propriétés d'un objet et l'objet lui-même. Cette capacité à repérer les propriétés, à les extraire et à les traiter indépendamment de ce qu'elles caractérisent marque un grand pas dans l'évolution cognitive de l'enfant. On peut dire que ses représentations sont moins adhérentes à l'objet, en ce sens que les propriétés rassemblées dans une représentation particulière sont analysables et détachables de cette représentation. À partir de ce moment, la connaissance rationnelle du monde devient possible.

Dans la conception de l'analogie proposée par Gineste (1994), l'accent est mis sur la première étape, celle de la reconnaissance, par le sujet, de la ressemblance entre les domaines ou les objets, cette ressemblance reposant sur des propriétés partagées. Aussi, pour reconnaître ces ressemblances, faut-il que le sujet puisse traiter ces propriétés indépendamment du support auquel elles sont attachées. Cette capacité à traiter ces propriétés en elles-mêmes permet d'élaborer des représentations de nouveaux objets, représentations bien séparées et autonomes, même si ces objets présentent des propriétés identiques. Dans la mesure où les enfants de 10-11 ans sont dans une phase de leur développement intellectuel qui leur permet d'extraire les propriétés d'objets et de les manipuler, il nous a paru légitime d'étudier comment ils élaboraient des représentations catégorielles nouvelles avec l'aide des analogies.

## **2.1. Conduite de l'expérience**

L'expérience fut réalisée auprès de cinquante-neuf enfants de CM2 dans une école primaire d'Argenteuil ; seuls quarante-cinq d'entre eux, nés en 1982, ont été retenus pour cette étude (âge moyen 10 ans et 6 mois au début de l'expérience). En effet, dans un souci d'homogénéité de la population expérimentale, nous n'avons pas tenu compte des résultats des quatorze élèves redoublants. Les quarante-cinq enfants dont les résultats seront présentés plus loin n'avaient pas eu de problèmes particuliers dans leur scolarité.

Par ailleurs, les institutrices chargées des classes nous avaient fourni un document indiquant la date de naissance, le sexe de chaque enfant ainsi que son niveau en mathématiques et en français, ce qui a permis de répartir équitablement les sujets dans les groupes expérimentaux.

### **2.1.1. Procédure**

L'étude s'est déroulée parallèlement à la classe, dans le cadre des activités d'éveil, sur cinq mois en 1993. Deux sessions bien distinctes ont été organisées, l'une, autour de la leçon «la cellule» (de janvier à la mi-mars) et l'autre, autour de la leçon «les globules rouges» (de la mi-mars à la fin mai).

Chaque session se déroulait en deux phases : la première phase englobait la leçon proprement dite et l'évaluation de la connaissance acquise immédiatement après. Pour la leçon, les enfants étaient réunis par groupes de cinq ; pour l'évaluation, ils étaient pris individuellement. Huit jours plus tard (seconde phase), avait lieu une nouvelle évaluation. Préalablement à chaque leçon, chaque enfant était vu individuellement pour



établir son niveau initial de connaissances sur le domaine cible (et sur le/ les domaine(s) source(s) pour les élèves bénéficiant d'une présentation analogique).

### **2.1.2. Les conditions expérimentales**

Elles étaient définies par la combinaison des facteurs étudiés, au nombre de quatre.

1. Le domaine de connaissances présenté à l'élève : deux domaines de connaissances étaient proposés.

*Domaine 1.* Une structure biologique : la cellule. Celle-ci était présentée avec ses différents composants ; leur rôle spécifique était décrit mais aucune information n'était donnée sur le fonctionnement même de la cellule. Il s'agissait essentiellement pour les élèves de mémoriser le nom et le rôle des principaux éléments d'une cellule. (Au cours de la scolarité, ce domaine de connaissance n'est abordé que beaucoup plus tard compte tenu de sa complexité. C'est pourquoi la leçon proposée relevait d'une simple initiation à la biologie cellulaire, l'approche étant uniquement descriptive).

*Domaine 2.* Un processus biologique : le fonctionnement des globules rouges dans les échanges gazeux. Ici, les enfants devaient comprendre et mémoriser la fonction des globules rouges et la succession des étapes au cours desquelles les échanges d'oxygène et de gaz carbonique s'effectuent. Cette connaissance est à acquérir en CM2.

Le choix de ces deux thèmes permettait de confronter les élèves à des tâches différentes concernant des domaines de connaissance dont l'accès n'est pas d'égale difficulté.

2. Le mode de présentation des domaines : trois modes de présentation différents (P1, P2, P3) de la leçon ont été utilisés pour transmettre les connaissances à acquérir.

P1. Présentation par un texte écrit des domaines nouveaux. Ce texte était accompagné de dessins anatomiques.

P2. Présentation identique à la précédente à laquelle étaient associées des illustrations analogiques. Pour la cellule, on fournissait des dessins qui représentaient des piles électriques, une usine et un camion, une tour de contrôle, un camion poubelle, un masque d'apiculteur ; ces illustrations renvoyaient respectivement aux concepts de mitochondries, réticulum endoplasmique, noyau, lysosome, membrane. Elles soulignaient ainsi la description du rôle de chacun de ces éléments. Les illustrations analogiques provenaient donc de domaines différents.

Pour les globules rouges, on donnait un dessin analogique où était figuré le parcours de bateaux de marchandises échangeant des cargaisons. Cette illustration symbolisait le fonctionnement des globules rouges dans les échanges gazeux.

P3. Présentation identique à la précédente (P2) à laquelle on associait un petit texte expliquant les relations d'analogie existant entre les domaines source et cible<sup>1</sup>.

### 3. Le délai de l'évaluation.

R1. Rappel immédiatement après la leçon.

R2. Rappel huit jours après.

### 4. Les indices guidant le rappel.

Pour le rappel, l'élève produisait une réponse à la question de l'expérimentateur, sans indice (I1). Puis, quand l'enfant ne produisait plus rien et que son rappel était incomplet et/ou erroné, l'expérimentateur lui proposait alors des indices (I2) pour l'aider à combler ses lacunes.

Pour la cellule, ces indices consistaient à fournir à l'enfant le schéma de la cellule avec une modification de la place des légendes et, pour les sujets des conditions «avec analogie», on ajoutait à ce dessin anatomique les illustrations analogiques, qui n'étaient données qu'une à une.

Pour les globules rouges, ces indices correspondaient à l'énonciation, un à un, des éléments essentiels intervenant dans le fonctionnement des échanges gazeux assurés par les globules rouges (globules rouges, poumon, parties du corps, oxygène, gaz carbonique). Dans les conditions «avec analogie», les élèves disposaient, en plus, de l'illustration analogique. Aucun commentaire n'était ajouté.

## 3. RÉSULTATS ET COMMENTAIRES

Deux types d'analyse ont été menées : une analyse quantitative sur les scores obtenus et une analyse qualitative des erreurs dans les rappels.

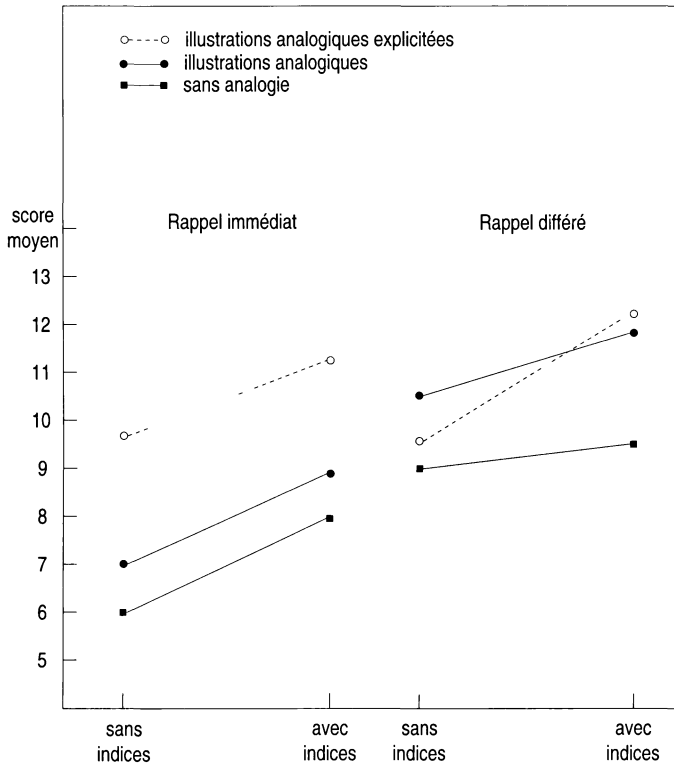
### 3.1. Analyse quantitative des scores de rappel

1. Pour la leçon «la cellule», on posait à l'enfant la question suivante : *«Peux-tu expliquer ce qu'il y a dans une cellule en précisant à quoi ça sert ?»*

<sup>1</sup> L'ensemble des textes et des illustrations analogiques peut être envoyé sur demande aux auteurs.

Les scores étaient calculés sur les items produits par l'enfant : à savoir un point pour chaque constituant correctement nommé et deux points quand le bon rôle lui était attribué (score maximum 15). À l'issue du rappel, des corrections étaient apportées par l'expérimentateur (rectification des erreurs et ajouts des éléments manquants).

Les résultats sont rassemblés ci-après.



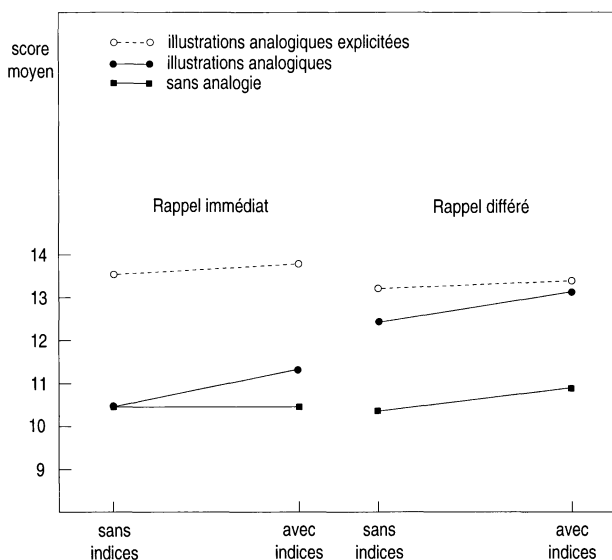
L'analyse de variance globale indique que les performances au rappel sont moins bonnes lorsque les élèves ne disposent que du dessin anatomique, comparativement aux performances de ceux qui ont bénéficié des illustrations analogiques ( $F_{(1, 42)} = 4,82, .05 > p > .01$ ). Si l'on compare les résultats du groupe «sans analogie» à ceux du groupe à qui on a explicité les analogies, les différences sont significatives ( $F_{(1, 28)} = 6,50, .05 > p > .01$ ).

Ces tendances sont confirmées en rappel immédiat. Les élèves du groupe «sans analogie» ont de moins bonnes performances que les autres, et ce sont les élèves du groupe «avec analogie explicitée» qui obtiennent les meilleures performances (P1 versus P3,  $F_{(1, 28)} = 13,93, p < .001$ ) ; P2 versus P3,  $F_{(1, 28)} = 7,27, .05 > p > .01$ ).

En ce qui concerne les rappels, on constate un effet significatif du moment du rappel : le rappel différé est mieux réussi que le rappel immédiat, en particulier pour le groupe P2 qui améliore nettement ses performances ( $P2, E_{(1,14)} = 12,08, .01 > p > .001$ ). P1 progresse également, ce qui montre une certaine efficacité de la correction verbale ne s'appuyant que sur le dessin anatomique de la cellule ( $P1, E_{(1,14)} = 10,45, .01 > p > .001$ ). Concernant P3, on n'observe aucune différence entre les rappels ; ce mode de présentation a permis aux sujets qui en ont bénéficié d'atteindre leur niveau de performance optimale dès le rappel immédiat.

Les comparaisons entre les rappels sans indices et avec indices sont toutes statistiquement significatives aussi bien en rappel immédiat qu'en rappel différé ( $R1, E_{(1,42)} = 35,28, p < .001$  ;  $R2, E_{(1,42)} = 43,35, p < .001$ ). Les sujets sont donc aidés lorsqu'on leur fournit des indices pour retrouver les connaissances traitées.

2. Pour le domaine «les globules rouges», les enfants répondent aux questions : «Où trouve-t-on les globules rouges ? À quoi servent-ils ? Peux-tu expliquer ce qu'ils font ?» On attribue un point pour chaque élément essentiel cité : sang, poumons, parties du corps, oxygène et gaz carbonique ; deux points pour chaque étape du «parcours» des globules rouges correctement relatée (score maximum 15). Après ce premier rappel, l'expérimentateur corrige les erreurs et comble les lacunes (voir figure ci-dessous).



Des analyses statistiques, on relève que l'explicitation des illustrations entraîne de meilleures performances (P1 *versus* P3,  $F_{(1,28)} = 5,11$ ,  $.05 > p > .01$ ). Par ailleurs, quand on fournit des indices pour retrouver les informations, on note de nouveau la supériorité de cette condition (P1 *versus* P3,  $F_{(1,28)} = 5,76$ ,  $.05 > p > .01$ ).

De plus, on constate une interaction entre les modes de présentation et les rappels ( $F_{(2,42)} = 3,67$ ,  $.01 < p < .05$ ). Le groupe P2 (avec des illustrations analogiques) améliore très nettement ses performances au rappel différé. **La correction, à la fin du rappel immédiat, qui consistait à souligner les ressemblances entre les domaines source et cible, a aidé ce groupe à structurer l'information traitée et à la stocker durablement.**

Le groupe P3, ayant obtenu de très bons résultats dès le rappel immédiat, n'a pu améliorer ses performances au cours du rappel différé. Le groupe P1, quant à lui, n'a pas progressé d'un rappel à l'autre. La correction verbale seule, en fin de rappel immédiat, ne lui a été d'aucune aide. L'absence de support illustré explique vraisemblablement cet échec (rappelez-vous que ce groupe avait amélioré ses performances au rappel différé lors de la première leçon sur la cellule ; en fin de rappel immédiat, la correction verbale s'appuyait sur la présentation du dessin anatomique de la cellule).

En ce qui concerne l'effet des indices, on le constate dans les deux rappels (R1,  $F_{(1,42)} = 12,45$ ,  $.01 > p > .001$  ; R2,  $F_{(1,42)} = 7,04$ ,  $.05 > p > .01$ ) ; à l'intérieur de chacun des groupes, il n'est apparent qu'en situation P2 ( $F_{(1,14)} = 7,33$ ,  $.05 > p > .01$ ).

3. Si l'on procède maintenant à l'analyse comparative du rôle des analogies selon les leçons proposées, on remarque que :

– les élèves qui ont bénéficié de l'analogie illustrée et explicitée en tirent davantage de profit dans la leçon sur les globules rouges que dans la leçon sur la cellule ( $F_{(1,14)} = 15,4$ ,  $.01 > p > .001$ ) ;

– l'analogie dans la leçon sur les globules rouges permet une meilleure utilisation des indices de récupération que dans la leçon sur la cellule ( $F_{(1,42)} = 14,5$ ,  $p < .001$ ). Cependant, on observe un effet d'interaction, l'amélioration des performances avec indices étant plus forte dans la leçon sur la cellule que dans celle sur les échanges gazeux ( $F_{(1,42)} = 20,61$ ,  $p < .001$ ).

Les résultats dans les rappels, immédiat et différé, sont meilleurs dans la leçon sur les globules rouges que dans celle sur la cellule (R1,  $F_{(1,42)} = 31,44$ ,  $p < .001$  ; R2,  $F_{(1,42)} = 8,71$ ,  $.001 < p < .01$ ). Mais on note là également un effet d'interaction, les élèves progressant davantage entre les deux rappels dans la leçon sur la cellule.

Il semble que l'analogie illustrée **unique** concernant la compréhension d'un **fonctionnement** (D2 : les globules rouges) présente davantage d'efficacité que l'emploi de plusieurs illustrations analogiques visant à décrire les différentes composantes d'un domaine (D1 : la cellule), au demeurant moins facile d'accès pour les élèves de CM2.

Par ailleurs, les indices de récupération utilisés pour D1 seraient davantage facilitateurs que ceux employés pour D2. La présentation du dessin anatomique de la cellule, sans légende dans les trois conditions expérimentales produirait un effet non négligeable (cf. la progression de P1).

Cette analyse strictement statistique a été complétée par une analyse qualitative visant à examiner la nature des erreurs produites par les élèves selon les conditions dans lesquelles ils avaient acquis ces connaissances nouvelles.

### 3.2. Analyse qualitative des erreurs

Ces erreurs se manifestent, en faible nombre, principalement dans la leçon sur la cellule, en rappel immédiat et en l'absence d'indices, les enfants ayant des difficultés pour retrouver le nom des objets des domaines et leur fonction respective.

Les enfants, dans leur ensemble, quand ils ne retrouvent pas le nom des constituants de la cellule, les désignent de différentes façons.

1. Par leur couleur.

2. Par le signifiant ou une partie du signifiant : «*y'a C-H-O-N qui se dit KON*», «*dedans, il y a un C-H qui se prononce K*», «*un nom en deux mots*», «*avec deux S*».

3. Quand ils tentent d'utiliser les termes lus, ceux-ci sont déformés. Pour «*réticulum endoplasmique*», on trouve «*reclum plastique, radrilum plasmaïque, rediculum endoplasmique, resiculum, reculum, cumique, aplastique, endoplastrique*» ; pour «*mitochondrie*», «*mitochondre, itochondrie, michondrie, mitocho, mitochondrome, microcique, mendropique, paconique, broncho, tro...*», et enfin pour «*lysosome*», «*lososome, sosome, lysome et solim*».

4. Seuls deux enfants, sur l'ensemble des trente enfants qui ont traité les illustrations analogiques, ont désigné deux des constituants par l'élément analogue correspondant : «*le casque*» pour la membrane, et «*les piles électriques vertes*» pour les mitochondries.

Lorsqu'il s'agit de définir la fonction des éléments constituant la cellule, les enfants font référence au domaine source. Cette référence s'effectue de plusieurs façons.

1. L'enfant distingue bien les deux domaines et présente les rôles des constituants par une comparaison : « *le noyau, c'est comme si c'était une tour de contrôle, il surveille* », « *les mitochondries, ça fait comme une sorte de pile qui recharge la cellule, ça donne de l'énergie* », « *le réticulum endoplasmique, c'est comme un camion et une usine, ça sert à transporter* », « *c'est un peu comme les usines ça sert à fabriquer des éléments et à les transporter* ».

2. Des confusions sont produites par la substitution des termes : « *les mitochondries, elles servent à faire de l'électricité* », « *le noyau, c'est la tour de contrôle* ».

3. Sur ces confusions analogiques, l'enfant ajoute des commentaires et tire des inférences à partir de l'illustration : « *les lysosomes, ils portent un masque* », « *ils recrachent les saletés* », « *c'est l'éboueur, il prend les déchets et il les rejette* ».

4. Enfin, l'enfant produit des analogies nouvelles et personnelles : « *la membrane, c'est comme la peau* », « *la membrane, c'est la peau qui recouvre pour pas faire rentrer les mauvaises substances à l'intérieur* », « *le réticulum endoplasmique sert à donner à manger, je crois* » (deux enfants sur les trente participant aux situations avec illustrations analogiques).

En réalité, ces erreurs dans la **dénomination** des éléments de la cellule représentent à peine 30% de l'ensemble des productions des élèves ; dans la **description des fonctions respectives** de chaque élément, les confusions analogiques quant à elles ne constituent que 10,6% des productions pour les deux situations d'analogie. **C'est dans la situation où l'analogie est explicitée que l'on rencontre le moins de ces confusions** (P3 : 2,7% versus P2 : 7,9%).

De plus, **dès que les indices sont proposés**, le nom des éléments et/ou les illustrations analogiques, **les élèves corrigent leurs erreurs** (comme en témoignent les analyses statistiques précédentes). **À long terme, ces erreurs ne se perpétuent pas**. Nous rappelons que dans la stratégie expérimentale choisie, l'intervention de l'expérimentateur, dans toutes les conditions (avec et sans analogie), a consisté à corriger toutes les erreurs des enfants, que ce soient des erreurs dans la dénomination du nouveau concept ou dans ses propriétés. Ces corrections, à l'issue du premier rappel, ont incité l'enfant à effectuer un nouveau travail, plus en profondeur et focalisé sur les éléments mal précisés. Elles lui ont permis de clarifier ce qu'il venait d'apprendre et de ne garder que des connaissances précises. Mais, en dépit de cette intervention identique dans tous les groupes expérimentaux, il n'en demeure pas moins que les élèves qui ont

bénéficié des analogies, conservent plus d'informations et ce, de façon durable.

## 4. CONCLUSION

Dans l'enrichissement de ses connaissances, l'analogie est intervenue dans la sélection des propriétés pertinentes qui caractérisaient un objet ou un domaine connu de l'enfant, ce que nous avons appelé les fonctions des objets analogues. Pour nous, l'analogie a joué ce rôle de préparation au traitement, en activant, dans la mémoire de l'enfant, un univers sémantique et imagé supplémentaire, cognitivement utile. L'amélioration des performances peut être imputable à ce processus.

Par ailleurs, si l'on se place du point de vue des acquisitions scolaires, en particulier dans les disciplines scientifiques (sciences de la vie et de la nature), l'élève doit assimiler des termes scientifiques spécialisés précis et qui, comme le souligne Jacobi (1993), diffèrent des mots de la langue commune en ce qu'ils ne sont pas polysémiques. En même temps qu'il apprend ces mots nouveaux, l'élève acquiert l'exigence de la précision dans la dénomination et dans la référence conceptuelle. Ce fut également l'une de nos préoccupations dans notre intervention quasi pédagogique.

Il ressort donc de cette étude **que l'enfant, non seulement a assimilé des mots nouveaux, mais a élaboré les représentations associées.** Certes, ces représentations catégorielles peuvent paraître rudimentaires. Mais, ainsi que l'écrivait Vygotski en 1934, «*au moment de l'assimilation d'un mot nouveau le processus de développement du concept correspondant, loin de s'achever, ne fait que commencer. Lors de l'assimilation initiale le nouveau mot est non pas au terme de son développement mais au début, c'est toujours un mot immature. Le développement interne progressif de sa signification entraîne en même temps la maturation du mot lui-même*» (Vygotski, 1985, p. 318, 1ère édition 1934). C'est dans la suite de sa scolarisation, avec bien sûr, des moyens adéquats, que l'enrichissement des concepts s'accomplira par l'adjonction progressive d'un faisceau de propriétés, ce qui pourra, dans certains cas, aboutir à un remodelage du concept lui-même. C'est donc beaucoup plus tard que l'élève élaborera des modèles abstraits du concept et de l'évolution des modèles scientifiques de ce même concept.

Dans ce lent processus d'acquisition, les analogies illustrées ont fourni une aide importante, d'autant plus importante qu'elles sont explicitées et commentées. Cela indique que les enfants de 10-11 ans ont encore besoin d'une aide visuelle concrète pour élaborer des représentations et les retrouver dans leur mémoire. Rappelons qu'il s'agissait de concepts et de



phénomènes dont la seule expérience perceptive et individuelle ne permet pas de construire les représentations.

Il est fréquent à l'école élémentaire que les enseignants utilisent de leur propre initiative des métaphores ou du matériel analogique pour faciliter l'acquisition de savoirs jugés trop abstraits pour des élèves qui leur sont confiés. Parfois, leurs propositions ne sont pas réellement adaptées : le choix du domaine source n'est pas toujours pertinent, l'analogie de structure des deux domaines est incomplète.

Les résultats de cette étude montrent que l'usage contrôlé de ce procédé pédagogique est particulièrement efficace lorsqu'il s'agit d'expliquer à de jeunes élèves des notions complexes. L'enseignant pourrait tout à fait tirer profit de l'emploi d'un tel matériel lorsqu'il se situe dans le cadre d'une pédagogie frontale ou quand il met en place dans sa classe des ateliers de recherche-expérimentation en petit groupe.

L'exploitation de cette recherche pourrait donc se traduire par l'intégration de supports analogiques, illustrés et explicités, en prenant la précaution de bien spécifier les domaines sources référents, dans des leçons concernant en particulier la compréhension de phénomènes physiques, chimiques ou biologiques.

Il est urgent, pour la formation scientifique des jeunes élèves, que les recherches se développent en ce sens, en conjuguant les expertises, celles de l'enseignant et celles des chercheurs, didacticiens et psychologues.

## BIBLIOGRAPHIE

- DONNELLY C.M. & McDANIEL M. A. (1993). The use of analogy in learning scientific concepts. *Journal of Experimental Psychology, Language, Memory and Cognition*, vol. 19, n° 4, pp. 975-987.
- DUIT R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning Science. *Science Education*, vol. 75, n° 6, pp. 649-672.
- GENTNER D. (1983). Structure Mapping : a theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, n° 7, pp. 155-170.
- GENTNER D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds), *Similarity and analogical reasoning*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 199-242.
- GINESTE M.-D. (1994). *Analogie et cognition*. Manuscrit d'habilitation à diriger des recherches. Orsay, LIMSI.
- HALPERN D. (1987). Analogies as a critical thinking skill. In D. Berger, K. Pezdek & W. Banks (Eds), *Applications of problem-solving, education & computing*. Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum, pp. 75-86.
- HALPERN D., HANSEN C. & RIEFER D. (1990). Analogies as an aid to understanding and memory. *Journal of Educational Psychology*, vol. 82, n° 2, pp. 298-305.

- HAYES D.A. & TIERNEY R.J. (1982). Developing reader's knowledge through analogy. *Reading Research Quarterly*, vol. 17, n° 2, pp. 256-280.
- HOLYOAK K.J. (1984). Analogical thinking and human intelligence. In R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of Human intelligence*, Vol.2. Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum, pp. 199-230.
- HOLYOAK K.J. (1990). Problem solving. In D.N. Osherson & E.E. Smith, *An invitation to Cognitive Science thinking*. Cambridge, MA, MIT Press, pp. 117-146.
- ISSING L.J. (1990). Learning from pictorial analogies. *European Journal of Psychology of Education*, vol. 5, n° 4, pp. 489-499.
- JACOBI D. (1993). Les terminologies et leur devenir dans les textes de vulgarisation scientifique. *Didaskalia*, n° 1, pp. 69-83.
- PAIVIO A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York, Holt, Rinehart and Winston.
- PAIVIO A. (1986). *Mental Representations : A dual coding approach*. New York, Oxford University Press.
- PETRIE H.G. & OSHLAG R.S. (1993). Metaphor and learning. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and thought* (2ème éd. révisée, 1ère éd. 1979). Cambridge, Cambridge University Press, pp. 579-609.
- PIAGET J. & INHELDER B. (1947). *La psychologie de l'intelligence* (7ème éd. 1964). Paris, Armand Colin.
- SCHUSTACK M.W. & ANDERSON J.R. (1979). Effects of analogy to prior knowledge on memory for new information. *Journal of Verbal Behavior and Verbal Learning*, n° 18, pp. 565-583.
- TRAN-THONG (1971). *Stades et concept de stades de développement de l'enfant dans la psychologie contemporaine* (1ère éd. 1967). Paris, Vrin.
- VYGOTSKI L. (1985). *Pensée et Langage* (1ère éd. 1934). Paris, Messidor Éditions Sociales.
- WALLON H. (1945). *Les origines de la pensée chez l'enfant* (réédition 1975). Paris, PUF.
- WALLON H. (1956). Les étapes de la personnalité chez l'enfant. In P. Osterrieth, J. Piaget, F. de Saussure, J.-M. Tanner, H. Wallon & R. Zazzo (Eds), *Le problème des stades en psychologie de l'enfant*. Paris, PUF. Réédité in *Enfance* (1963), n° 1-2, pp. 73-85.

# Procédures didactiques de déstabilisation du système de représentations spontanées des élèves pour la propagation de la lumière

Konstantinos RAVANIS, Yannis PAPAMICHAËL

Université de Patras  
Département des Sciences de l'Éducation  
(Section Préscolaire)  
Rion, Patras, 26500 Grèce.

## Résumé

*Cette recherche porte sur le rôle de la médiation sociale dans la déstabilisation didactique d'une conception «horizontale» de la propagation de la lumière chez des élèves de l'école primaire. La résistance de ce système de représentation spontané à des tentatives de déstabilisation a été analysée sur deux groupes d'enfants âgés de 10 à 11 ans, dont l'un (groupe expérimental) a participé à des interactions didactiques visant à créer chez les sujets un conflit cognitif, tandis que l'autre (groupe témoin) a suivi l'enseignement scolaire traditionnel. Dans toutes les situations expérimentales étudiées, les progrès entre le pré-test et les post-tests ont été plus marquants pour les sujets du groupe expérimental, tant au niveau de l'explication des phénomènes liés à la propagation de la lumière en ligne droite qu'au niveau de la stabilité de ces acquisitions.*

**Mots clés :** didactique de la physique, représentations des élèves, optique géométrique.

## **Abstract**

*This research project investigates the role that social mediation plays in the destabilization of representations of the concept of horizontal transmission of light of primary school pupils. The resistance that this system of representations shows in the attempt to destabilize it has been studied with two groups of children, 10-11 years old. One of the groups (the experimental) participated in a teaching process which aimed to lead pupils to cognitive conflict ; the second (the control group) followed traditional teaching methods. In all experimental situations that were studied the progress between pre-test and post-tests was significant for the subjects of the experimental group both at the level of explanation of the phenomena of horizontal transmission of light, and at the level of the stability of cognitive acquisitions.*

**Key words :** *didactics of physics, pupils' representations, geometrical optics.*

## **Resumen**

*Esta investigación trata sobre el rol de la mediación social en la desestabilización didáctica de una concepción «horizontal» de la propagación de la luz en los alumnos de la escuela primaria. La resistencia de este sistema de representación espontánea en tentativas de desestabilización ha sido analizada en dos grupos de niños de edad comprendida entre 10 y 11 años, donde uno de ellos (grupo experimental) participó en interacciones didácticas enfocadas a crear en los alumnos un conflicto cognitivo, mientras que el otro grupo (grupo control) siguió la enseñanza escolar tradicional. En todas las situaciones experimentales estudiadas, los progresos entre el pre-test y los post-tests han sido más notables para los sujetos del grupo experimental, tanto en el nivel de la explicación de los fenómenos ligados a la propagación de la luz en línea recta, como en el nivel de la estabilidad de esas adquisiciones.*

**Palabras claves :** *didáctica de la física, representaciones de los alumnos, óptica geométrica.*

## **1. PROBLÉMATIQUE**

Comme cela a été souvent démontré dans des recherches descriptives centrées sur les représentations de la lumière et des effets qui lui sont associés chez des enfants de 8 à 15 ans, l'obstacle principal à la compréhension de ces notions découle de la difficulté qu'éprouvent ces sujets à reconnaître la lumière en tant qu'entité autonome dans l'espace (Tiberghien et al., 1980 ; Stead & Osborne, 1980 ; Anderson & Smith, 1982 ; Andersson & Kärqvist, 1982, 1983 ; Guesne, 1984, 1985). Selon la plupart de ces auteurs, cette difficulté provient de la tendance, chez les sujets de cet âge, à associer la lumière exclusivement à sa source ou aux effets visibles qu'elle provoque dans l'espace «vécu».

Pour l'optique géométrique, la notion de propagation rectiligne du rayon lumineux constitue une connaissance fondamentale de l'expert (Halbwachs, 1974, p. 53). Ainsi, même si nous savons aujourd'hui que la lumière en réalité ne se déplace pas seulement en ligne droite, «*l'idée de la propagation rectiligne constitue une approche commode pour décrire ce qui arrive dans notre monde familier*» (Feynman, 1985, p. 88). Feher et Rice (1988) ont demandé à des enfants de 8 à 14 ans de dessiner des images et des ombres d'objets éclairés par plusieurs sources ; ils ont constaté que dans ces dessins, les ombres ne dépendent pas des sources de lumière. Ainsi, même lorsque dans ces représentations iconiques apparaît un ensemble de lignes diagonales provenant de la source, les différentes directions ne sont pas équivalentes pour les sujets, qui semblent privilégier certaines directions en fonction de l'agencement spatial des objets proposés dans le problème physique donné. Guesne (1984) aboutit à des conclusions similaires avec des sujets de 13-14 ans. Guesne constate aussi que 30 % des enfants seulement évoquent la propagation rectiligne et parmi ceux-là, nombreux sont ceux qui reconnaissent cette qualité à la lumière seulement quand il s'agit de sa direction en ligne horizontale.

Dans la perspective piagétienne, cette forme d'explication centrée sur les impressions immédiates caractérise le mode de fonctionnement de la pensée pré-opératoire : reconnaître la lumière en tant qu'entité autonome exige en effet le développement de la transitivité opératoire, qui constitue «*l'une des conditions nécessaires de la construction des groupements d'opérations concrètes*» (Piaget & Garcia, 1971, p. 21). La caractéristique essentielle de la pensée intuitive par rapport à la reconnaissance de la lumière en tant qu'entité autonome est alors, justement, que cette forme de pensée ignore la propagation pour se centrer exclusivement tantôt sur la source lumineuse, tantôt sur les surfaces éclairées.

Toutefois, la description de l'organisation des connaissances du sujet ne peut se réduire aux notions opératoires piagésiennes. Dans cette approche, rappelons-le, «*il n'existe jamais de contenu en soi. Le contenu d'une proposition physique, autrement dit le fait qu'elle exprime, comporte lui-même une forme qui englobe un contenu d'échelle inférieure...*» (Piaget, 1958, p. 98). Il est cependant possible que les conceptions intuitives de l'environnement physique constituent pour le sujet de véritables productions, élaborées sous forme de «*modèles mentaux*» (Gentner & Stevens, 1983), à travers lesquels différents concepts (propagation, intensité, vitesse...) se trouvent indistinctement réunis dans une seule et même notion : la lumière. La question proprement didactique qui se pose alors à ce niveau est de savoir comment l'enseignant pourrait contribuer à un guidage des sujets vers un nouveau modèle explicatif ; ou, pour le dire autrement, comment il pourrait aider l'élève à réorganiser ses représentations spontanées du problème. Si en effet ces représentations ont une histoire et un

développement (Ogborn & Bliss, 1990), une des fonctions de l'école est justement de familiariser les élèves avec l'usage de l'explication causale en substituant à ses représentations primitives les modèles scientifiques imaginés, afin de rattacher certains phénomènes à un facteur causal inobservable (Landsheere, 1979). On utilise ici le concept de la causalité au sens piagétien où «*la causalité consiste, à chaque niveau du développement, en un processus d'attribution d'opérations cognitives du sujet à l'objet*» (Bovet et al., 1986).

Cependant, il est aujourd'hui admis que ces connaissances primitives du sujet s'avèrent très résistantes à l'enseignement scientifique tel qu'il se pratique à l'école (Gunstone & White, 1981 ; McCloskey, 1983 ; Howe et al., 1990). Ainsi, «*la construction des concepts scientifiques n'est pas un processus qui peut intervenir ex abrupto, à l'écoute d'un exposé ou à la lecture de manuels[...] il semble donc important de disposer de descriptions des changements conceptuels possibles en référence aux conditions d'apprentissage proposés aux élèves*» (Weil-Barais & Lemeignan, 1990, p. 393). Si donc il semble aujourd'hui admis que le sujet ne comprend une idée que s'il est familiarisé avec elle, il reste à la recherche en didactique à décrire ces processus de familiarisation et de concrétisation des notions abstraites. Dans le domaine de la physique, la plupart des chercheurs insistent à la fois sur le rôle de l'observable et de la démarche d'observation lors de l'apprentissage, ainsi que sur l'élaboration de guidages pertinents, susceptibles de permettre aux élèves de faire des inférences à partir de nouvelles propositions (Donaldson, 1978 ; Weil-Barais et al., 1990). En effet, dans l'approche psycho-didactique, le changement des conceptions primitives de l'élève ne peut se produire de façon spontanée. Leur déstabilisation nécessite de mettre en œuvre des médiations didactiques dans l'apprentissage et l'enseignement de contenus spécifiques de connaissances. Cependant, si un concept nouveau répond à des situations nouvelles auxquelles le sujet se trouve confronté, «*ce constructivisme doit tenir compte des conditions d'interaction sociale dans lesquelles se fait le travail de l'enfant et notamment de l'interaction de tutelle, du conflit avec l'autre, de la communication langagière*» (Vergnaud, 1989, p. 453).

C'est dans le même sens que de nombreuses recherches en psychologie sociale du développement cognitif analysent la dynamique sociale qui médiatise le rapport de l'enfant à l'objet de connaissance (Doise & Mugny, 1981 ; Perret-Clermont, 1979 ; Carugati & Mugny, 1985 ; Gilly & Roux, 1988 ; Parisi, 1988). Dans ce cadre, «*l'adulte peut soit présenter un modèle de réponses à l'enfant (aussi bien correctes qu'incorrectes d'ailleurs), soit n'effectuer qu'une remise en question systématique sans présentation d'un modèle alternatif*» (Carugati & Mugny, 1985, p. 64). Pour ces auteurs, la prise de conscience par l'enfant «*de l'existence de réponses possibles autres que la sienne*» est une source particulièrement efficace de décentration

cognitive. Ceci peut d'ailleurs s'expliquer par le fait «*qu'autrui fournit également des informations qui peuvent aider l'enfant ou les partenaires à élaborer une nouvelle réponse*» (p. 65). Cependant, se pose à ce niveau le problème de la définition du rôle des modèles à travers lesquels s'effectue l'apprentissage. En effet, le modèle peut être défini d'une part comme un facteur qui facilite la compréhension des variables, des paramètres et des relations entre variables, donc l'évolution des représentations spontanées, d'autre part comme un instrument qui permet la systématisation logique des idées des élèves (Giordan & Martinand, 1987).

En ce qui concerne l'apprentissage de notions physiques, il est généralement admis «*qu'on ne peut pas directement agir sur le système de représentation des élèves en espérant engendrer un changement de conception. Ce système est extrêmement stable et résiste aux contradictions ; même les expériences physiques les plus évidentes ne suffisent pas à perturber les croyances des élèves*» (Amigues & Caillot, 1990, p. 484). Il nous semble donc légitime d'associer à la perspective décrite par Vygotski (1962) en termes de «*zone de proche développement*» une source de contradiction de nature sociale, directement liée à la dynamique interactive de la situation expérimentale (Weil-Barais, 1994). Ainsi l'hypothèse de l'efficacité du conflit socio-cognitif dans la didactique de la physique ne contredit pas, à notre avis, l'idée selon laquelle «*le progrès de l'enfant serait maximal lorsque le niveau cognitif implicite du modèle proposé à l'enfant est juste légèrement supérieur à celui de l'enfant*» (Carugati & Mugny, 1985, p. 65). S'il est vrai qu'un modèle correct n'est pas toujours nécessaire à l'induction d'un progrès, il n'en reste pas moins que dans les situations didactiques réelles, surtout en physique, il est souvent très difficile de fournir à l'enfant des réponses à la fois «*efficaces*» et relevant d'un modèle similaire à celui de l'enfant. Cependant, comme le remarque Amigues (1988, p. 129), «*l'élaboration de significations successives, en cours de communication, permet aux élèves individuellement de spécifier, en termes «fonctionnels», des représentations qui ne pouvaient pas l'être initialement*».

Ainsi, l'existence d'un modèle correct dans la situation éducative ne doit pas être considérée comme synonyme d'une acceptation implicite de la part du chercheur du postulat empiriste, selon lequel les processus de changement cognitif se déroulant lors d'une interaction sociale se réduisent en dernière analyse à des effets d'imitation. L'usage didactique des confrontations socio-cognitives, dont les bénéfiques sont explicables par le processus de déstabilisation qu'elles mettent en œuvre chez l'élève tant au niveau de la procédure ou du raisonnement, qu'au niveau de la représentation ou de l'évaluation de la tâche, vise à provoquer un effort de remodelisation, effectué par l'élève même, mais toujours dans une situation sociale dont la dynamique consiste à guider l'enfant vers une «*démarche de preuve*»

(Johsua & Dupin, 1988). Celle-ci comporte toujours un support expérimental conduisant le sujet vers une démarche d'observation et un guidage associé aux interactions de tutelle qui permettent l'élaboration d'«*un contexte bien particulier de dialogue, appelé système commun de significations*» (Amigues & Caillot, 1990, p. 484). Dans une approche explicitement interactionniste, Johsua et Dupin (1988, p. 157) proposent l'utilisation de «*l'analogie modélisante*» qui, au lieu de présenter des modèles «corrects», peut conduire les élèves à «*plusieurs hypothèses explicatives contradictoires... Pour trancher, le recours à des connaissances nouvelles s'avère nécessaire, produites, par exemple, par de nouvelles expériences. Celles-ci, imaginées et conduites dans le seul but de permettre un choix entre les hypothèses présentes prendront alors le statut «d'expériences-test», étape majeure dans une démarche de modélisation*». Ainsi, comme les auteurs le soulignent, quelques situations d'apprentissage socialement marquées peuvent permettre la verbalisation et la systématisation logique des idées des élèves.

Afin que le sujet s'engage activement dans une démarche de remodelisation à partir de ces «théories en action» sur la propagation de la lumière dans l'espace, et afin qu'il puisse reconnaître la validité de ce qui lui est proposé à travers l'interaction de tutelle, nous avons opérationnalisé notre hypothèse de déstabilisation didactique sous la prévision suivante : les élèves participant aux procédures didactiques expérimentales auront tendance à reconnaître la propagation de la lumière en ligne droite, quelle que soit sa direction dans l'espace, plus fréquemment que les élèves d'un groupe de sujets ayant suivi un enseignement habituel.

Cette recherche tente de répondre à la question de l'efficacité d'une interaction didactique conflictuelle qui pose comme objectif le dépassement des obstacles dans le raisonnement des élèves, obstacles créés par leurs propres représentations (Martinand, 1986).

## 2. MÉTHODE

Notre effort s'est porté dans deux directions. Tout d'abord, dans une perspective descriptive, nous avons examiné les représentations spontanées des sujets sur la trajectoire de la lumière, avant qu'ils en reçoivent un enseignement systématique à l'école. D'autre part, nous avons organisé, au sein de notre situation expérimentale, la procédure didactique de déstabilisation des conceptions naturelles des élèves. Cette procédure visait à conduire les élèves à un conflit cognitif par une intervention didactique. En effet, à la suite de l'analyse systématique entreprise à partir du pré-test, nous avons pu distinguer deux obstacles principaux dans les raisonnements et les explications des élèves :



- une difficulté à reconnaître la propagation de la lumière dans toutes les directions,
- une difficulté à reconnaître la propagation rectiligne de la lumière.

C'est pour ces raisons que nous avons guidé nos interventions vers ces deux objectifs éducatifs concrets. Il est évident que le contrat didactique de la situation expérimentale se différencie du contrat didactique scolaire traditionnel lors de l'enseignement des sciences physiques. Cette procédure a eu lieu en dehors de la classe, avec de petits groupes d'élèves à qui on avait bien expliqué que cet effort n'avait rien à faire avec le programme scolaire ni avec leur évaluation de la part de l'enseignant. Cependant l'expérimentateur a bien joué le rôle de l'enseignant-animateur d'un processus didactique et les enfants ont travaillé individuellement, sans collaborer entre eux. Ce choix est justifié par notre souci de limiter autant que possible les interactions entre élèves qui caractérisent des situations conçues pour l'expérimentation et n'ayant que peu de rapport avec les conditions réelles de l'enseignement dans la classe.

## 2.1. L'échantillon et le recueil de données

104 sujets (50 garçons, 54 filles de 9,5 à 10,5 ans - moyenne d'âge : 9,94) ont participé à cette recherche. Il s'agit des élèves qui n'ont pas été en mesure de fournir des réponses correctes aux questions concernant la propagation rectiligne de la lumière ; ils ont été retenus après un pré-test sur un échantillon plus large (132 élèves), par des entretiens individuels dirigés, utilisant dans une certaine mesure des techniques piagétienne. La population provient de onze classes différentes. Leurs performances scolaires sont moyennes. Leurs parents totalisent à eux deux 12 à 24 ans de scolarité sans études universitaires ; ils ont poursuivi leurs études après l'école élémentaire, mais ne disposent pas de connaissances approfondies en physique dans la mesure où ils n'ont pas fait d'études universitaires.

Ces sujets, qui dans leur compréhension des phénomènes liés à la propagation de la lumière, font preuve d'un type de raisonnement que nous pourrions appeler « intuitif », ont été répartis en deux groupes (expérimental et contrôle) composés de 52 sujets chacun (25 garçons, 27 filles). Deux mois après le pré-test, les sujets du groupe expérimental ont participé aux interactions de tutelle visant à la déstabilisation de leurs conceptions naïves, tandis que les enfants du groupe contrôle ont suivi l'enseignement de la même matière dans les classes d'effectif « normal » et dans le cadre des horaires scolaires « normaux ».

Chaque séance d'enseignement expérimental a duré dix minutes. Cet enseignement a été effectué par un chercheur et faisait partie d'une unité

didactique sur la lumière. La procédure a eu lieu dans une salle spécialement aménagée à cet effet à l'intérieur des écoles.

Le dépistage des représentations des sujets quant à la propagation de la lumière dans toutes les directions a été réalisé par la même technique, tant au niveau du pré-test qu'au niveau des deux post-tests qui ont suivi, deux et quatre mois après la phase expérimentale. Le deuxième post-test, quatre mois après l'intervention didactique, a été effectué dans le but de vérifier si les transformations réalisées dans le raisonnement des enfants du groupe expérimental sont restées statistiquement significatives par rapport aux transformations réalisées chez les enfants du groupe contrôle.

## 2.2. Dispositif et entretiens lors du pré-test et des post-tests

Nous présentons ci-dessous le dispositif, la structure des protocoles ainsi que quelques extraits d'interviews à titre d'exemple.

**Tâche 1.** On pose verticalement deux cartons de 17 cm x 25 cm sur des supports horizontaux stables de façon à ce qu'ils se trouvent à une distance de 12 cm l'un de l'autre. Le premier de ces cartons comporte un orifice circulaire de 0,5 cm à une hauteur de 17 cm de son point d'appui. À une distance de 8 cm diagonalement et au-dessous de l'orifice nous plaçons une source lumineuse (4,8 V - 2,4 W, voir figure 1).

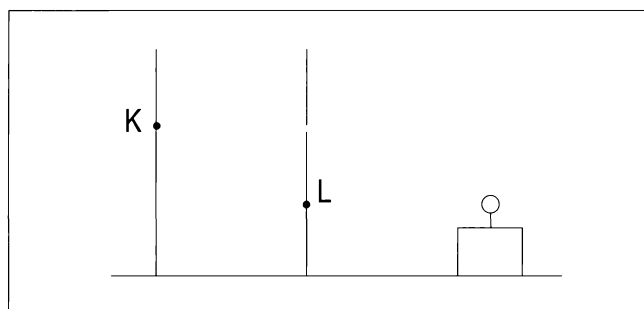


Figure 1 : Dispositif de la tâche 1

Avant d'allumer la lampe, nous demandons au sujet de prévoir si le deuxième carton va être éclairé lorsqu'on allumera la lampe. Si la réponse est positive, nous poursuivons l'entretien en demandant des précisions (« où ça va éclairer ? », « comment la lumière va se diriger ? »). Par exemple :

Expérimentateur. *Nous allumons la lampe. Est-ce que le deuxième carton va être éclairé ?*

Élève A. *Oui.*

E. *Sur quel point sera-t-il éclairé ?*

A. *Sur ce point-ci, en face du trou (il montre le point K).*

E. *Sur un autre point ?*

A. *Non.*

E. *Comment la lumière y arrive-t-elle ?*

A. *Elle entre par là, par le trou... et elle sort par ici... puisqu'elle entre par le trou elle doit se montrer en face du trou.*

Si la réponse est négative, nous demandons au sujet de nous décrire quelle sera, à son avis, la trajectoire de la lumière.

Expérimentateur. *Si nous allumons la lampe, est-ce que le deuxième carton va être éclairé ?*

Élève B. *Non. Le premier carton est épais, la lumière ne passera pas.*

E. *Comment la lumière y arrivera-t-elle ?*

B. *Elle ira tout droit et elle tombera ici (point L).*

**Tâche 2.** Nous répétons cette expérience en posant la source de lumière à une distance de 8 cm diagonalement au-dessus de l'orifice (voir figure 2).

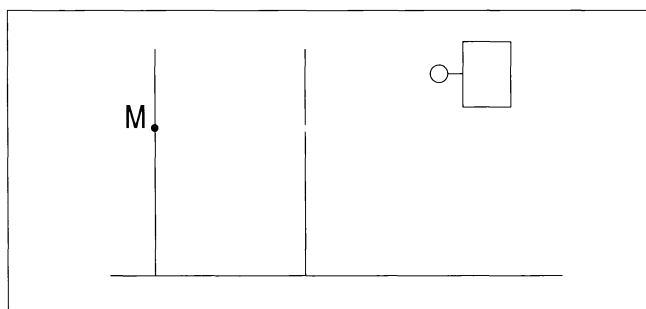


Figure 2 : **Dispositif de la tâche 2**

Nous posons ensuite au sujet les mêmes questions que dans l'expérience précédente.

Expérimentateur. *Nous allumons la lampe. Est-ce que le carton qui est derrière va être éclairé ?*

Élève C. *Il va être éclairé... la lumière passera par ce trou et elle pourra aussi éclairer l'autre carton... mais seulement ici en face du trou (point M).*

E. *Est-ce que tu peux me montrer où ira la lumière ?*

C. *De la lampe au trou... et du trou à ce point-ci (point M).*

**Tâche 3.** On pose verticalement deux cartons de hauteur inégale (17 cm x 25 cm et 17 cm x 19 cm) sur des supports stables, de façon à ce qu'ils se trouvent à une distance de 10 cm l'un de l'autre (voir figure 3). À une distance de 15 cm et à une hauteur de 6 cm, sous le bord supérieur du plus petit de ces cartons, nous posons une source lumineuse non allumée pendant l'expérience.

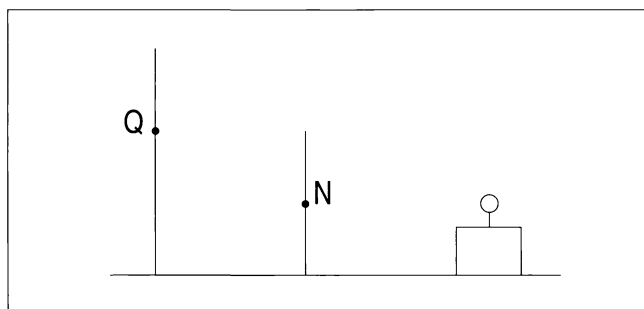


Figure 3 : Dispositif de la tâche 3

Ce dispositif nous permet de contrôler les représentations de la propagation de la lumière dans les cas où le faisceau n'est pas modelé par une orifice mais diffusé dans toutes les directions. Après la présentation du dispositif, nous demandons au sujet de prévoir si, en allumant la lampe, «on va voir de la lumière sur le deuxième carton» ou si «on va voir de l'ombre et pourquoi».

Expérimentateur. *Si nous allumons la lampe, est-ce que nous verrons de la lumière sur le deuxième carton ?*

Élève D. *Non... la lumière sera ici seulement, sur le premier carton... si nous allumons la lampe, elle va éclairer... le premier carton (point N).*

Expérimentateur. *Si nous allumons la lampe, est-ce que nous verrons de la lumière sur le deuxième carton ?*

Élève G. *Oui, parce que le premier carton est court et la lumière passe en haut et éclaire l'autre...*

E. *Où, exactement ?*

G. *Seulement jusqu'au point où commence le carton court... jusqu'au point où est le carton court, il y a de l'ombre partout... à partir de ce point-là il y a de la lumière partout (point Q).*

### 2.3. La procédure expérimentale : déstabilisation didactique et apprentissage

La procédure expérimentale comprenait une série d'interventions de la part de l'expérimentateur, conçues pour conduire à un conflit avec les représentations spontanées des élèves. À cette fin, nous avons présenté un modèle « *correct-progressif* » (Doise & Mugny, 1981, p.153), c'est-à-dire un modèle dont les caractéristiques correspondent à ceux de l'optique géométrique. Cependant, pour que les progrès attendus ne puissent pas être expliqués par un processus d'imitation, nous avons soigneusement évité pendant l'expérience de fournir des informations verbales aux sujets. Par contre, nous avons étayé la procédure didactique par une expérience directement observable permettant aux élèves de vérifier chaque fois leurs hypothèses sur la trajectoire de la lumière. Nous devons remarquer, ici, qu'au cours de notre enseignement nous avons demandé aux élèves de prévoir si la lumière atteindrait leurs yeux bien que nous sachions, par d'autres recherches, que la diffusion de la lumière n'est pas facilement reconnue, même par des enfants plus âgés (Guesne, 1984, 1985 ; Esgalhado & Rebordao, 1987). Cependant, durant notre recherche, les élèves de notre groupe expérimental avaient déjà compris, au cours d'une intervention didactique spéciale qui avait précédé, que la lumière est une entité autonome susceptible d'être diffusée (Ravanis & Papamichaël, à paraître).

Comme nous l'avons signalé plus haut, les enseignements effectués auprès des onze équipes de 3-5 sujets du groupe expérimental ont duré dix minutes chacun. Des enseignements de même durée ont été réalisés pour le groupe de contrôle, enseignements assurés dans ce cas dans la classe par le maître, et basés sur une présentation orale du phénomène de la propagation rectiligne de la lumière ainsi que sur une riche documentation de photos et d'expériences simples. Voyons plus en détail l'enseignement pour le groupe expérimental.

En ce qui concerne le déplacement de la lumière dans toutes les directions, nous avons utilisé un support expérimental comportant une source lumineuse et une poupée située à 50 cm de cette source, de façon à ce que le visage de la poupée se trouve en face de la lampe. Nous demandons ensuite au sujet si la lumière ira dans les yeux de la poupée si nous allumons la «lampe». Normalement nous devons obtenir une majorité de réponses affirmatives à cette première question. Nous déplaçons par la suite la poupée vers le haut dans un angle de 45° par rapport à la ligne horizontale, en maintenant constante la distance de 50 cm entre la poupée et la source (figure 4). Nous répétons alors la question précédente ; étant donné que la propagation de la lumière dans toutes les directions n'est pas reconnue, nous devons obtenir des réponses négatives. L'expérimentateur

demande alors des explications, avant d'allumer la lampe : «*c'est-à-dire que la poupée, là-haut, ne verra pas la lumière ?*». Ensuite, afin de déstabiliser les idées spontanées des enfants, nous allumons la lampe et les enfants vérifient expérimentalement la propagation de la lumière dans toutes les directions. Pour permettre aux élèves de procéder à la réorganisation de leurs conceptions initiales, nous demandons enfin aux sujets d'expliquer «*comment la lumière a atteint le visage de la poupée surélevée*».

En ce qui concerne la propagation rectiligne de la lumière, le guidage de l'enfant vers une démarche de preuve et de remodelisation de ses conceptions naïves, comporte un matériel expérimental composé d'une source lumineuse et d'un tuyau plastique opaque de 32 cm de longueur ouvert aux deux bouts. Nous allumons la lampe et nous demandons aux sujets de prévoir si, en regardant par l'ouverture du tuyau, la lumière atteindra leurs yeux et bien entendu, nous nous attendons à des réponses affirmatives (figure 5). Ensuite nous remplaçons le premier tuyau par un autre tuyau dont l'une des extrémités est retournée de façon à empêcher complètement la propagation du faisceau lumineux, et nous plaçons l'extrémité retournée exactement sur la source lumineuse. Nous posons aux sujets la même question que précédemment et, avant la vérification empirique, nous nous attendons à des réponses en majorité affirmatives, dans la mesure où dans les conceptions spontanées, le schème de la propagation rectiligne n'est pas encore construit (figure 6). Ensuite, nous proposons aux sujets de vérifier leurs hypothèses et d'essayer d'expliquer la contradiction entre les deux conditions (tuyau droit et courbé). Nous demandons aux élèves de nous indiquer la trajectoire de certains rayons qui «*partent de la lampe et se propagent dans toutes les directions*».

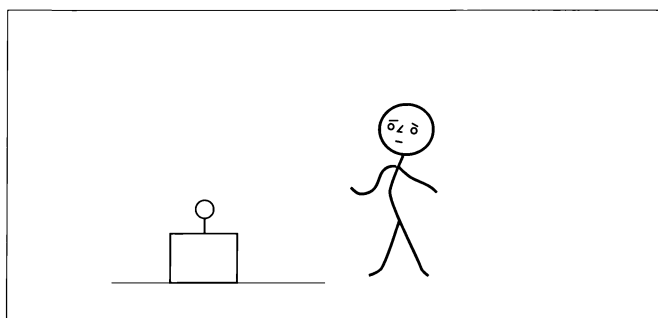


Figure 4 : Position de la poupée par rapport à la lampe

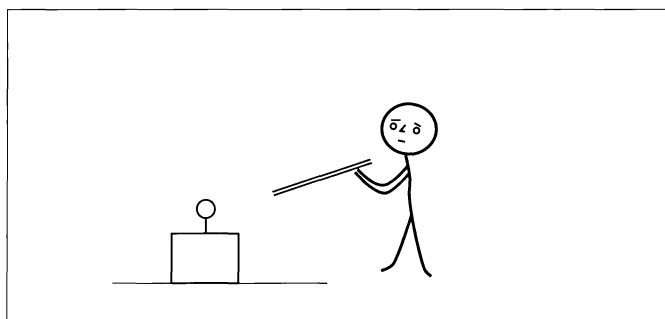


Figure 5 : **Utilisation du premier tuyau**

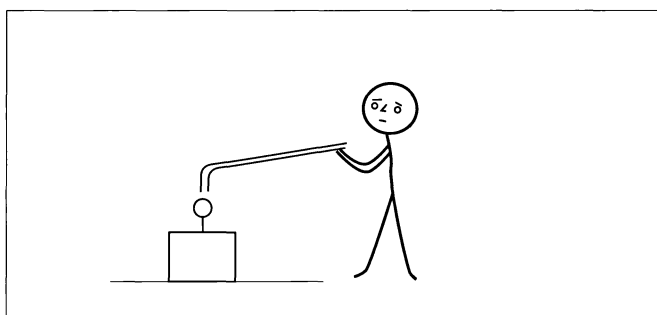


Figure 6 : **Utilisation du deuxième tuyau**

## 2.4. Hypothèses opérationnelles

Nous nous attendons à ce que lors des deux post-tests, les élèves du groupe expérimental reconnaissent plus souvent que les élèves du groupe témoin la propagation de la lumière, aussi bien du bas vers le haut que dans la direction opposée, du haut vers le bas. Par ailleurs, ces mêmes élèves du groupe expérimental devraient reconnaître plus fréquemment que ceux du groupe témoin la propagation rectiligne de la lumière dans les cas où celle-ci forme une ombre.

## 3. RÉSULTATS

Nous avons classé les réponses obtenues durant les entretiens du pré-test et des post-tests en cinq catégories.

A. Réponses correctes : il s'agit des réponses qui prévoient correctement l'aboutissement du faisceau lumineux en fournissant une description suffisante de son trajet.

B. Réponses correctes sans explications : dans ce cas le sujet, tout en décrivant le phénomène, n'est pas en mesure de fournir une description satisfaisante de la trajectoire.

C. Réponses «horizontales» centrées sur l'obstacle : il s'agit des réponses qui situent l'aboutissement du faisceau lumineux dans une direction horizontale par rapport à l'obstacle (par exemple en face de l'orifice).

D. Réponses «horizontales» centrées sur la source : dans ce cas, le sujet ne reconnaît pas que le deuxième écran puisse être éclairé, car il localise la tache lumineuse sur le premier écran, dans une direction horizontale et «en face» de la source lumineuse.

E. Autres réponses erronées.

Dans le tableau 1 sont présentées les répartitions des réponses des sujets des deux groupes aux trois tâches proposées.

		PRÉ-TEST		POST-TEST 1		POST-TEST 2	
		G.E.	G.C.	G.E.	G.C.	G.E.	G.C.
T. 1	Cat. A	1		27	5	30	6
	Cat. B		1				
	Cat. C	38	40	16	32	13	26
	Cat. D	13	6	9	15	9	18
	Cat. E		5				2
T. 2	Cat. A	1	1	32	9	34	8
	Cat. B		1				
	Cat. C	6	1	11	13	11	8
	Cat. D	45	48	9	27	7	34
	Cat. E		1		3		2
T. 3	Cat. A	3	2	32	7	30	4
	Cat. B	5	1			1	3
	Cat. C	21	25	9	19	10	14
	Cat. D	23	24	9	24	10	29
	Cat. E			2	2	1	2

**Tableau 1 : Répartition des réponses des sujets du groupe expérimental (G.E.) et du groupe de contrôle (G.C.)**

Pour le traitement statistique des réponses, nous avons considéré comme correctes celles qui étaient suivies d'une explication satisfaisante



du phénomène : c'est en effet uniquement pour ces réponses-là que nous pouvons affirmer avec certitude que les raisonnements des élèves sont compatibles avec ceux de l'optique géométrique. Nous avons donc défini comme progrès le passage d'une réponse de niveau plus faible à une réponse de ce type. Nous avons classé les réponses des sujets dans trois catégories, en termes de progrès, stagnation ou recul des performances entre le pré-test et les deux post-tests qui ont suivi. Les résultats principaux sont les suivants.

Concernant la reconnaissance de la propagation rectiligne de la lumière dans la direction soit du bas vers le haut, soit du haut vers le bas, notre hypothèse semble se confirmer comme l'indiquent les résultats des tableaux 2 et 3. En effet, dans le cas de la propagation de la lumière vers le haut, nous constatons qu'entre le pré-test et le premier post-test, 31 élèves du groupe expérimental contre 8 du groupe de contrôle, réalisent un progrès en donnant des réponses justes et bien expliquées, tandis qu'entre le pré-test et le deuxième post-test, 33 élèves du groupe expérimental et 7 du groupe de contrôle réalisent un progrès. De plus, dans le cas de la propagation de la lumière vers le bas nous constatons que, dans le groupe expérimental, 26 élèves réalisent un progrès entre le pré-test et le premier post-test et 29 élèves en font autant entre le pré-test et le deuxième post-test, contre 4 et 6 élèves seulement dans le groupe de contrôle (Test Mann-Whitney. Tâche 1 : premier post-test,  $U = 754$ ,  $p < 0.001$  ; deuxième post-test,  $U = 731$ ,  $p < 0.001$ . Tâche 2 : premier post-test,  $U = 754$ ,  $p < 0.001$  ; deuxième post-test,  $U = 676$ ,  $p < 0.001$ ).

Nous remarquons aussi que le succès est plus grand pour la première tâche. Nous pouvons expliquer cette différence par le fait que les enfants sont plus familiarisés avec la lumière diffusée vers le haut par les expériences de la vie quotidienne (lampe de table...).

	PRÉ-TEST/POST-TEST 1		PRÉ-TEST/POST-TEST 2	
	G.E.	G.C.	G.E.	G.C.
Progrès	31	8	33	7
Stagnation	21	44	19	45
Recul	0	0	0	0

**Tableau 2 : Propagation diagonale vers le haut du faisceau lumineux : répartition des sujets en termes de progrès, stagnation et recul entre le pré-test et les deux post-tests dans les deux groupes**

	PRÉ-TEST/POST-TEST 1		PRÉ-TEST/POST-TEST 2	
	G.E.	G.C.	G.E.	G.C.
Progrès	26	4	29	6
Stagnation	26	48	23	46
Recul	0	0	0	0

**Tableau 3 : Propagation diagonale vers le bas du faisceau lumineux : répartition des sujets en termes de progrès, stagnation et recul entre le pré-test et les deux post-tests dans les deux groupes**

Concernant la reconnaissance de la propagation rectiligne de la lumière diffuse, la lecture du tableau 4 permet de constater une nette supériorité des performances des sujets du groupe expérimental. Nous nous apercevons qu'entre le pré-test et le premier post-test, 30 élèves du groupe expérimental, contre 7 des élèves du groupe de contrôle, réalisent un progrès, tandis qu'entre le pré-test et le deuxième post-test, 28 contre 4 en font autant (Test Mann-Whitney. Tâche 3 : premier post-test,  $U = 754.5$ ,  $p < 0.001$  ; deuxième post-test,  $U = 728$ ,  $p < 0.001$ ).

	PRÉ-TEST/POST-TEST 1		PRÉ-TEST/POST-TEST 2	
	G.E.	G.C.	G.E.	G.C.
Progrès	30	7	28	4
Stagnation	21	43	23	46
Recul	1	2	1	2

**Tableau 4 : Propagation de la lumière diffuse dans toutes les directions : répartition des sujets en termes de progrès, stagnation et recul entre le pré-test et les deux post-tests dans les deux groupes**

Cependant du point de vue didactique nous soulignons que, malgré les différences statistiquement significatives entre les deux groupes, un nombre relativement important d'élèves du groupe expérimental ne progresse pas.

## 4. CONCLUSION

Selon nos prévisions, les représentations des sujets participant à la procédure expérimentale sur la propagation de la lumière devaient se différencier d'une façon significative de celles des élèves ayant suivi l'enseignement habituel en classe. Le contrôle de nos hypothèses

opérationnelles dans les trois situations expérimentales étudiées (propagation vers le haut, vers le bas, lumière diffuse) a confirmé le rôle du guidage de l'élève vers une démarche de preuve dans la reconstruction de ses conceptions spontanées. Soulignons que toutes les expériences présentées visant à la déstabilisation des représentations spontanées des élèves mettent en jeu, de manière explicite, l'acte de «voir», que ce soit par une poupée ou par un être humain ; et ceci n'est pas le cas dans les expériences utilisées dans les situations expérimentales des tests. La stabilité des progrès effectués par les élèves du groupe expérimental, telle qu'elle apparaît dans les deux post-tests qui ont suivi la phase expérimentale, montre l'assimilation effective du nouveau modèle de représentation de la notion de propagation rectiligne de la lumière.

Notre recherche nous donne quelques indications sur l'importance de la planification d'interventions didactiques ayant comme objectif la déstabilisation et la reconstruction des représentations des élèves. Nous avons pu ainsi vérifier le rôle positif des interactions conflictuelles qui peuvent conduire aux transformations tant au niveau logique qu'au niveau des représentations des concepts physiques.

Donc dans le cadre théorique utilisé, celui du constructivisme social, nous avons délimité un champ commun de références où s'articulent d'une part, les idées piagétienne sur la construction de la pensée logique et d'autre part, les théories socio-constructivistes qui étudient la naissance de l'intelligence comme résultat des facteurs sociaux. Mais l'efficacité de l'articulation que nous avons utilisée dans notre problématique n'est ni évidente ni suffisamment étudiée dans le cadre de la didactique des sciences physiques. Il y a sans doute assez de recherches qui évoquent le rôle des conflits cognitifs (Stavy & Berkovitz, 1980 ; Hashweh, 1986) ou des modèles analogiques (Johsua & Dupin, 1988 ; Duit, 1991) dans la compréhension de notions ou de phénomènes de la physique. Mais ces recherches concernent surtout l'élaboration d'interventions didactiques qui s'étendent sur un grand nombre de séances et qui ont pour but la construction de réseaux conceptuels dans le cadre de l'enseignement de matières plus développées dans le cadre de l'école.

Dans notre recherche nous avons privilégié l'étude de situations didactiques où l'interaction sociale conflictuelle transforme les paramètres du raisonnement sur lesquels est basée la compréhension d'une notion élémentaire de physique : la propagation rectiligne de la lumière. C'est pour cette raison que notre intervention a duré très peu de temps et ne s'est pas déroulée dans les conditions habituelles d'une classe normale.

Du point de vue didactique, nous devons signaler l'importance massive et la résistance de la représentation naïve de propagation de la lumière en direction horizontale. Ainsi, l'utilisation de contre-exemples et la valorisation

d'arrangements expérimentaux pertinents paraissent indispensables pour réorganiser ce type de conceptions spontanées. Mais il est évident que la valeur éducative des relations de tutelle effectuées doit être confirmée, non seulement dans les conditions expérimentales d'enseignement en petits groupes, mais aussi et surtout dans les conditions «normales» de la classe.

## BIBLIOGRAPHIE

- AMIGUES R. (1988). Travail en groupe des élèves et changement de conception. *Technologies, Idéologies, Pratiques*, vol. 2, n° 7, pp. 117-135.
- AMIGUES R. & CAILLOT M. (1990). Les représentations graphiques dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité. *European Journal of Psychology of Education*, vol. V, n° 4, pp. 477-488.
- ANDERSSON B. & KÄRRQVIST C. (1982). Light and its properties. *EKNA Project, Report n° 8*. Göteborg, University of Göteborg, pp. 30-89.
- ANDERSSON B. & KÄRRQVIST C. (1983). How Swedish pupils aged 12-15 years understand light and its properties. *European Journal of Science Education*, vol. 5, n° 4, pp. 387-402.
- ANDERSON C. & SMITH E. (1982). Student conceptions of light, color and seeing. *Paper presented at the annual convention of the National Association for Research in Science Teaching*. Fontana, Wisconsin.
- BOVET M., PARRAT-DAYAN S. & VONÈCHE J. (1986). Causalité et apprentissage. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, vol. 6, n° 6, pp. 615-631.
- CARUGATI F. & MUGNY G. (1985). La théorie du conflit sociocognitif. In G. Mugny, *Psychologie sociale du développement cognitif*. Berne, Peter Lang, pp. 57-70.
- DOISE W. & MUGNY G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. Paris, Interéditions.
- DONALDSON M. (1978). *Children's Minds*. London, Fontana Paperbacks.
- DUIT R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, vol. 75, n° 6, pp. 649-672.
- ESGALHADO A. & REBORDAO J. (1987). À propos de modèles «spontanés» de phénomènes liés à la lumière. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Actes des IX<sup>es</sup> Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris VII, pp. 303-308.
- FEHER E. & RICE K. (1988). Shadows and anti-images : children's conceptions of light and vision II. *Science Education*, vol. 72, n° 5, pp. 637-649.
- FEYNMAN R. (1985). *QED*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press.
- GENTNER D. & STEVENS A.L. (Eds) (1983). *Mental models*. New Jersey, Lawrence Erlbaum.
- GILLY M. & ROUX J.-P. (1988). Social marking in ordering tasks : effects and action mechanisms. *European Journal of Social Psychology*, n° 18, pp. 251-266.
- GIORDAN A. & MARTINANDJ.-L. (Eds). (1987). *Modèles et simulation. Actes des IX<sup>es</sup> Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris VII.
- GUESNE E. (1984). Children's ideas about light. In E.J. Wenham (Ed.), *New Trends in Physics Teaching*. Paris, UNESCO, vol. IV, pp. 179-192.
- GUESNE E. (1985). Light. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds), *Children's ideas in science*. Philadelphia, Open University Press, pp. 10-32.
- GUNSTONE R.F. & WHITE R.T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, vol. 65, n° 3, pp. 291-300.

- HALBWACHS F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- HASHWEH M.Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, vol. 8, n° 3, pp. 229-249.
- HOWE C., RODGERS C. & TOLMIE A. (1990). Peer interaction in primary school physics. *European Journal of Psychology of Education*, vol. V, n° 4, pp. 459-475.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1988). Processus de modélisation en électricité. *Technologies, Idéologies, Pratiques*, vol. 2, n° 7, pp. 155-169.
- LANDSHEERE G. (1979). *Dictionnaire de l'Évaluation et de la Recherche en Éducation*. Paris, PUF.
- MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne, Peter Lang.
- Mc CLOSKEY M. (1983). Naive theories of motion. In D. Genters & A.L. Stevens (Eds), *Mental models*. New Jersey, Lawrence Erlbaum, pp. 299-323.
- OGBORN J. & BLISS J. (1990). A Psycho-logic of Motion. *European Journal of Psychology of Education*, vol. V, n° 4, pp. 379-390.
- PARISI M. (1988). Niveaux d'organisation cognitive et perméabilité au conflit socio-cognitif. In A.-N. Perret-Clermont & M. Nicolet, *Interagir et connaître*. Fribourg, Delval, pp. 29-40.
- PERRET-CLERMONT A.-N. (1979). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne, Peter Lang.
- PIAGET J. (1958). Assimilation et connaissance. In J. Piaget (Ed.), *La lecture de l'expérience*. Paris, PUF, pp. 49-107.
- PIAGET J. & GARCIA R. (1971). *Les explications causales*. Paris, PUF.
- RAVANIS K. & PAPAMICHAËL Y. (à paraître). Social marking and the transformation of representations to scientific concepts : the concept of light for ten-years old children.
- STAVY A. & BERKOVITZ B. (1980). Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education*, vol. 64, n° 5, pp. 679-692.
- STEAD B. & OSBORNE R. (1980). Exploring students' concepts of light. *Australian Science Teacher Journal*, vol. 3, n° 26, pp. 84-90.
- TIBERGHEN A., DELACOTE G., GHIGLIONE R. & MATALON B. (1980). Conceptions de la lumière chez l'enfant de 10-12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, n° 50, pp. 24-41.
- VERGNAUD G. (1989). Questions vives de la psychologie du développement. *Bulletin de Psychologie*, vol. XLII, n° 390, pp. 450-457.
- VYGOTSKI L.-S. (1962). *Thought and Language*. Cambridge, MIT Press.
- WEIL-BARAIS A. & LEMEIGNAN G. (1990). Apprentissage de concepts en mécanique et modélisation de situations expérimentales. *European Journal of Psychology of Education*, vol. V, n° 4, pp. 391-416.
- WEIL-BARAIS A., LEMEIGNAN G. & SÉRÉ M.-G. (1990). Acquisition de connaissances scientifiques et développement. In G. Netchine-Grynberg (Ed.), *Développement et fonctionnement cognitifs chez l'enfant*. Paris, PUF, pp. 247-259.
- WEIL-BARAIS A. (1994). Heuristic value of the notion of zone of proximal development in the study of child and adolescent construction of concepts in physics. *European Journal of Psychology of Education*, vol. IX, n° 4, pp. 367-383.

# Différenciation conceptuelle : un enseignement d'hydrostatique, fondé sur le développement et la contradiction des conceptions des élèves

P. KARIOTOGLOU, P. KOUMARAS, D. PSILLOS

Aristotle University of Thessaloniki  
School of Education  
54006 Thessaloniki, Grèce.

(Traduit par J.-L. Closset)

## Résumé

*Cet article propose une stratégie susceptible de faciliter la différenciation conceptuelle chez des élèves de l'enseignement obligatoire. Cette stratégie est mise en œuvre pour améliorer la différenciation des notions de pression et de force pressante par des élèves dont la connaissance initiale à propos des liquides est dominée par une notion «parente» indifférenciée. Cette notion recouvre des caractéristiques à la fois de la pression et de la force pressante. La stratégie s'appuie sur ce qui, dans la connaissance première des élèves, est compatible avec le modèle scientifique ; elle les conduit à une situation conflictuelle lorsqu'ils ont acquis la compétence nécessaire pour percevoir des contradictions dans leurs explications des faits expérimentaux. Les résultats de l'application de cette stratégie dans l'enseignement secondaire grec sont positifs.*

**Mots clés :** différenciation conceptuelle, pression, force pressante, conceptions des élèves, stratégie d'enseignement.

## **Abstract**

*In this paper a strategy is proposed which potentially facilitates conceptual differentiation by compulsory education pupils. The strategy is applied for enhancing differentiation of the notions of pressure and pressing force by pupils whose initial knowledge about liquids is dominated by a «parental» indifferenced notion. This notion includes features of both pressure and pressing force. The strategy builds upon pupils, existing knowledge which is in line with the scientific model and induces them in a conflict situation when the pupils have acquired the necessary knowledge to understand contradictions in their explanation of experimental evidence. Results from the application of the strategy in Greek secondary education pupils are positive.*

**Key words :** *conceptual differentiation, pressure, pressing force, pupils' conceptions, teaching strategy.*

## **Resumen**

*Este artículo propone una estrategia susceptible de facilitar la diferenciación conceptual en los alumnos de la enseñanza obligatoria. Esta estrategia es aplicada para mejorar la diferenciación de las nociones de presión et de fuerza de presión por los alumnos donde el conocimiento inicial a propósito de los líquidos es dominado por una noción «parental» indiferenciada. Esta noción recubre a la vez características de presión y de la fuerza de presión. La estrategia se apoya sobre lo que en el conocimiento inicial de los alumnos es compatible con el modelo científico y los conduce a una situación conflictiva cuando ellos han adquirido el conocimiento necesario para percibir las contradicciones en sus explicaciones de los hechos experimentales. Los resultados de la aplicación de esta estrategia en la enseñanza secundaria greca son positivos.*

**Palabras claves :** *presión, fuerza de presión, estrategia de enseñanza, concepciones de los alumnos, diferenciación conceptual.*

## **1. INTRODUCTION**

Il y a relativement peu d'études à propos des conceptions des élèves relatives aux fluides, et plus particulièrement concernant la signification de la pression, de même qu'au sujet d'approches pédagogiques pertinentes (Engel & Driver, 1985 ; Séré, 1985 ; Mayer, 1987 ; Giese, 1987 ; Kariotoglou, 1991). Cependant ce sujet fait partie de nombreux programmes de sciences de l'enseignement primaire et secondaire. Les résultats des recherches laissent penser que beaucoup d'élèves entre 10 et 15 ans ne reconnaissent pas les fluides comme un concept unificateur des liquides et des gaz. Certains voient dans les fluides un quatrième état de la matière, d'autres les identifient aux liquides, tandis que quelques-uns pensent qu'il s'agit de poudres. La plupart des élèves de cet âge établissent une relation correcte

entre pression et force tant qu'il s'agit d'expériences simples et de questions directes, mais ne peuvent répondre correctement lorsqu'il s'agit de comparer des pressions dans des situations plus complexes, comme les pressions au fond d'un récipient large et d'un récipient étroit (Kariotoglou & Psillos, 1993). Certains élèves ne peuvent saisir la transmission de la pression dans les fluides et ceux qui y arrivent ne sont pas capables d'appliquer correctement le principe de Pascal. Enfin, beaucoup d'élèves, bien qu'au fait des facteurs qui influencent la flottaison et connaissant la formule pertinente, ne sont pas capables de l'appliquer lorsqu'il s'agit de traiter les phénomènes correspondants.

En ce qui concerne les conceptions des élèves à propos de la pression dans les liquides, Kariotoglou et Psillos (1993) ont distingué le modèle «foule entassée», le modèle «pression-force» et le modèle «liquide». Les élèves qui utilisent le premier modèle considèrent, implicitement ou explicitement, les liquides comme compressibles, ce qui les conduit à affirmer que la pression dans un récipient étroit contenant de l'eau est supérieure à celle qui existe dans un récipient large rempli au même niveau. Les élèves qui se servent du modèle pression-force confondent pression et force pressante. Ainsi, ils attribuent à la pression les propriétés d'un vecteur et d'une grandeur extensive, ce qui correspond à une force pressante. Enfin, les élèves du modèle liquide attribuent à la pression les propriétés d'une grandeur intensive et d'une variable d'état, vue proche du modèle scientifique. Le premier modèle est en contradiction avec le modèle scientifique et peut être considéré comme très naïf. Par contre, le second modèle, bien qu'incompatible avec le modèle scientifique, est déjà beaucoup plus élaboré.

Après enseignement on constate que plusieurs élèves peuvent fournir des explications plausibles des phénomènes expérimentaux dans les termes du modèle pression-force. De plus, des élèves qui construisent des explications scientifiquement acceptables, retournent au modèle pression-force lorsqu'ils sont mis en présence de problèmes plus complexes. Dans ce contexte nous pensons que, du point de vue de l'enseignement et de l'apprentissage des fluides, une question importante est de savoir quelle stratégie est apte à faciliter le changement conceptuel et le passage à une utilisation judicieuse de la connaissance scientifique chez les élèves utilisant le modèle pression-force. Cet article se centre sur la caractéristique principale de ce changement conceptuel : l'acquisition et l'utilisation correcte de la pression et de la force pressante en tant que concepts séparés, dans l'interprétation par les élèves des phénomènes relatifs aux liquides. Le travail présenté ici fait partie d'un projet de recherche plus important sur la modélisation et l'usage didactique des conceptions des élèves du Gymnasium grec (école secondaire de l'enseignement obligatoire en Grèce), âgés de 13-14 ans, dans le domaine des fluides et de la pression.



De plus amples détails sur ce projet peuvent être obtenus par ailleurs (Kariotoglou et al., 1990, 1993).

## 2. CONNAISSANCE DES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES

Une étape essentielle dans le développement de notre stratégie est l'identification des caractéristiques du modèle pression-force qui sont ou non en accord avec la connaissance scientifique de référence. Pour cela, nous tenons compte de ce que la structure de cette connaissance scientifique est construite à partir de deux concepts différents, mais en relation linéaire, à savoir la pression et la force pressante ( $F = P \cdot A$ ). La nature de ces concepts est mise en évidence par l'analyse épistémologique développée ci-dessous.

Le tableau 1 présente les propriétés essentielles du modèle pression-force, en même temps que celles de la pression et de la force pressante. Oui (O) signifie que la propriété fait partie du modèle et Non (N) qu'elle n'en fait pas partie. Le tableau contient des éléments qui font apparaître à la fois des similitudes et des différences entre le modèle pression-force et le modèle scientifique dans la perspective de cet article. Les propriétés qui correspondent aux similitudes et différences des modèles de la pression utilisés par les élèves ont été présentées ailleurs (Kariotoglou & Psillos, 1993). Nous présentons aussi quelques exemples de réponses des élèves aux différentes questions (figure 1), qui illustrent les caractéristiques du modèle pression-force. Les détails des réactions des élèves ont également été présentés dans Kariotoglou & Psillos (1993).

Propriétés	Modèles PRESSION-FORCE des élèves (1)	Modèle scientifique de la PRESSION (2)	Modèle scientifique de la FORCE PRESSANTE (3)
1. Dépend de la profondeur	O	O	O
2. Dépend du type de fluide	O	O	O
3. Possède une direction	O	N	O
4. Est une grandeur extensive	O	N	O
5. P ou F «sont exercées sur...»	O	N	O
6. Est considérée sur une surface	O	N	O
7. Peut être partagée	O	N	O
8. Le liquide «a» P ou F	O	O	N
9. Est considérée comme une propriété	O	O	N

Tableau 1 : **Modèle pression-force des élèves comparé aux modèles scientifique de la pression et de la force pressante (O = oui – N = non)**

Les élèves qui utilisent le modèle pression-force attribuent à la pression les propriétés d'une grandeur vectorielle («*la pression venant du côté...*») quand ils répondent aux questions 2, 3 et 4 (voir figure 1). Ils considèrent qu'il s'agit d'une grandeur extensive qui peut être divisée comme le montrent les réponses des élèves à la question 1 («*la pression dans le récipient large est plus grande car il contient plus d'eau*»), ou à la question 4 («*la pression sur le plongeur ne rencontrant aucun obstacle au-dessus de lui est plus grande, car elle se répartit sur une plus grande surface*»). Les élèves qui adoptent ce modèle relient la pression à une surface («*la pression exercée sur le fond du grand récipient est plus grande, car le récipient a une surface plus grande*»). Nous voudrions préciser ce point en nous référant à la propriété 6 du tableau 1 : «est considérée sur une surface». Nous avons indiqué O(ui) parce que les élèves utilisent l'expression «est exercée sur le fond» ; par contre pour le concept scientifique de pression nous avons indiqué N(on), car la pression est une fonction de point, ce qui ne signifie pas forcément que la pression ne puisse pas être considérée en un point d'une surface. Enfin nous avons indiqué O(ui) pour le modèle scientifique de la force pressante en ce sens que la force sur une surface est mesurable.

La plupart des propriétés que les élèves attribuent à la pression sont des propriétés du concept scientifique de la force pressante plutôt que de la pression. Néanmoins certaines réponses d'élèves sont assez proches du concept scientifique de la pression comme «*la pression de l'eau...*» ou «*la pression que l'eau a...*» (question 1). Dans ces réponses les élèves semblent considérer la pression comme une propriété du liquide. Par contre, de telles conceptions sont incompatibles avec le concept de force qui est une grandeur d'interaction. D'autres réponses comme «*la pression change parce qu'ici nous avons un liquide différent...*» (question 4a) sont compatibles avec la dépendance de la pression par rapport à la nature du liquide.

Dans le cadre du modèle scientifique, la pression et la force pressante sont toutes deux nécessaires à la prédiction et l'interprétation des phénomènes ; il n'est en effet pas possible de substituer un des concepts à l'autre. Par exemple, des phénomènes mettant en œuvre la transmission de la pression (principe de Pascal) requièrent l'usage du concept de pression, alors que les phénomènes impliquant que quelque chose flotte ou coule nécessitent l'usage de la force d'Archimède, qui est définie comme la résultante de l'ensemble des forces pressantes. Les propriétés des concepts pression et force pressante sont présentées dans les colonnes 2 et 3 du tableau 1. Les caractéristiques distinctives de ces concepts peuvent se classer en deux catégories principales.

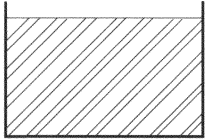
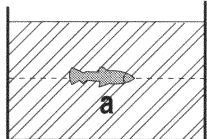
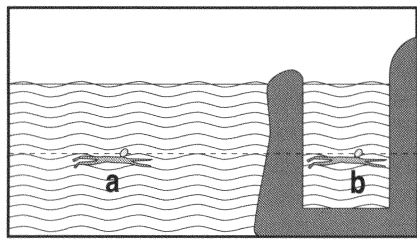
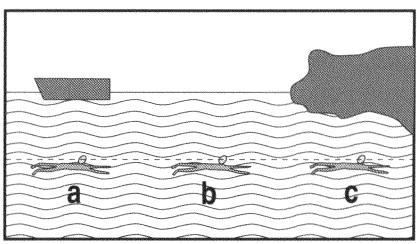


 <p style="text-align: center;"><b>a</b>                      <b>b</b></p>	<p><b>Question 1</b></p> <p>Compare les pressions en un point du fond des récipients (a) et (b) qui contiennent de l'eau au même niveau, mais sont de largeurs différentes.</p>
 <p style="text-align: center;"><b>a</b>                      <b>b</b></p>	<p><b>Question 2</b></p> <p>Compare les pressions en un point du dos des poissons (a) et (b) qui nagent au même niveau, dans les mêmes récipients que ceux de la question 1.</p>
 <p style="text-align: center;"><b>a</b>                      <b>b</b></p>	<p><b>Question 3</b></p> <p>Compare les pressions en un point du dos des plongeurs (a) et (b) nageant au même niveau, dans la mer et dans un puits rempli d'eau de mer.</p>
 <p style="text-align: center;"><b>a</b>                      <b>b</b>                      <b>c</b></p>	<p><b>Question 4</b></p> <p>Compare les pressions en un point du dos des plongeurs (a), (b) et (c) nageant au même niveau dans la mer.</p>
 <p style="text-align: center;"><b>eau</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>alcool</b></p> <p><b>Question 4a</b></p> <p>Compare les pressions en un point du fond des deux récipients semblables (a) et (b) contenant respectivement de l'eau et l'alcool.</p>

Figure 1 : Questions 1, 2, 3, 4, 4a

Tout d'abord, la pression est une grandeur scalaire tandis que la force pressante est une grandeur vectorielle. Ensuite, la pression est une grandeur d'état (elle a une signification et est définie en un point), alors que la force pressante est une grandeur d'interaction (elle s'exerce sur la surface d'un corps). De plus la force pressante est une grandeur additive alors que la pression ne l'est pas (voir annexe). Pour illustrer la signification de l'additivité, considérons le fond de deux récipients cylindriques contenant de l'eau, où les pressions sont respectivement  $P_1$  et  $P_2$  et les forces pressantes  $F_1$  et  $F_2$ . Si l'eau contenue dans les deux récipients est transférée dans un troisième, également cylindrique et de surface au fond arbitraire, la nouvelle force pressante sur le fond sera toujours égale à  $F_1 + F_2$ , alors que la nouvelle pression au fond ne sera pas nécessairement égale à  $P_1 + P_2$ .

Les deux premières propriétés dans le tableau 1, communes aux deux modèles, ne permettent pas de distinguer pression et force pressante. Par contre, le fait que la force possède une direction alors que la pression n'en a pas peut être démontré expérimentalement. Si par exemple des petits trous sont pratiqués à la surface d'un sac en plastique plein d'eau, l'eau en sort sous forme de jets dans toutes les directions. À partir de cette observation, un physicien tirerait la conclusion que la pression ne possède pas de direction au contraire de la force. Néanmoins nous pensons que cette déduction nécessite un raisonnement compliqué que les élèves, contrairement aux physiciens, ne sont pas capables de faire.

L'additivité de la force, et à l'opposé la non-additivité de la pression, sont des propriétés qui peuvent être vérifiées expérimentalement (voir annexe). On peut par exemple mesurer les pressions  $P_1$  et  $P_2$  dans deux récipients cylindriques de sections différentes  $S_1$  et  $S_2$ , puis comparer ces pressions avec la pression  $P_{tot}$  dans un troisième récipient ayant une section  $S_1 + S_2$  et contenant toute l'eau des deux premiers. Une autre expérience consiste à mesurer les forces  $F_1$  et  $F_2$  nécessaires pour détacher du sol deux ventouses, puis à les comparer à la force totale  $F_{tot}$  nécessaire pour détacher une troisième ventouse de surface égale à la somme des surfaces des deux autres. Les relations  $P_1 + P_2 \neq P_{tot}$  et  $F_1 + F_2 = F_{tot}$  peuvent ainsi être vérifiées expérimentalement par des mesures quantitatives ou semi-quantitatives. À notre avis, de telles comparaisons directes peuvent être comprises par les élèves et peuvent donc contribuer à la distinction entre pression et force pressante.

Nous pensons que les expressions «a de la pression» et «de la pression est exercée» (propriétés 8 et 5 du tableau 1), n'étant que des éléments linguistiques, ne peuvent contribuer à cette distinction. De plus la propriété 9 du tableau 1 («est considérée comme une propriété») ne peut pas être démontrée expérimentalement. La démonstration du partage des forces, et à l'inverse du non-partage des pressions (propriété 7), peut être

approchée de façon semblable à celle de l'additivité, bien que le raisonnement des élèves est moins bien adapté aux opérations nécessaires de soustraction qu'à celles d'addition. L'analyse ci-dessus montre que l'additivité de la force, et à l'inverse la non-additivité de la pression, est la seule différence entre les propriétés de la pression et de la force qui :

- puisse être établie à partir d'expérience basées sur des mesures,
- possède un caractère de vérification,
- puisse être aisément saisie par les élèves.

### 3. STRATÉGIE D'ENSEIGNEMENT

#### 3.1. Introduction

À la suite de l'analyse faite ci-dessus du modèle pression-force des élèves et du modèle scientifique, il apparaît que les élèves utilisent une notion «parente» générale pour interpréter les phénomènes hydrostatiques à la place des deux concepts, séparés mais reliés, de pression et de force pressante. L'acquisition de la connaissance scientifique à propos des liquides implique donc un changement dans la connaissance initiale des élèves, qui comprend la désintégration de la notion «parente» de pression-force et le développement de deux notions «filles», la pression et la force pressante. Ces deux concepts et leur interrelation  $F = P \cdot A$  devraient permettre aux élèves de prédire correctement, de décrire et d'interpréter les phénomènes relatifs aux fluides comme ceux de la question 7 (voir figure 3), qui ne peuvent être interprétés en termes du modèle pression-force. Un tel processus de changement conceptuel peut être considéré comme une *différenciation conceptuelle* (Wiser, 1985 ; Smith et al., 1985 ; Carey, 1985).

À ce point de l'exposé émerge une question cruciale : quelle est la stratégie d'enseignement appropriée qui peut faciliter cette différenciation ? Nous pensons qu'un aspect important d'une telle stratégie est d'amener les élèves à un stade d'insatisfaction quant à l'usage de leur connaissance initiale (Posner et al., 1982) qui peut les conduire à dévaluer le statut de celle-ci et à faciliter la désintégration de la notion «parente». Comme nous l'avons précédemment mentionné, les deux notions «filles» sont interconnectées ( $F = P \cdot A$ ) et ont des propriétés communes et distinctes (voir tableau 1), parmi lesquelles une seule peut être mise en évidence expérimentalement à partir de mesures : il s'agit de la non-additivité de la pression. Nous suggérons donc de créer un état d'insatisfaction à partir de faits contredisant les idées des élèves, et produits grâce à une situation expérimentale structurée autour de mesures de l'additivité de la force et de la non-additivité de la pression.

L'utilisation de faits expérimentaux susceptibles de créer un conflit cognitif est une technique puissante mais non nécessairement couronnée de succès. Les résultats de recherche laissent penser que, dans certains cas, les élèves ignorent les faits contradictoires dans le but de préserver leur connaissance initiale (Chinn & Brewer, 1993). Des élèves peuvent même ne pas être conscients des contradictions dans leur argumentation, sauf si leur connaissance initiale le leur permet. En conséquence, nous pensons qu'une préparation appropriée des élèves est importante pour qu'ils prennent conscience du conflit et qu'elle dépend des caractéristiques de leur connaissance initiale.

Comme on peut le voir dans le tableau 1, la notion «parente» de pression-force des élèves n'a que quatre des neuf propriétés du concept scientifique «fille» de pression. Ceci est probablement dû au fait que le concept de force et ses propriétés sont enseignés avant et de façon beaucoup plus importante que la pression, en tout cas dans le programme de science grec. Ceci est peut-être aussi dû au fait que dans la vie quotidienne, le vocable «force» est fréquemment utilisé et est un terme plus puissant que celui de «pression». Ceci nous conduit à la conclusion que la notion «fille» de pression est dévaluée, aux yeux des élèves, c'est-à-dire qu'elle a un statut plus faible et est dominée par le concept de force qui a un statut fort. Dans ces conditions nous pensons qu'un essai de désintégration directe de la notion «parente» ne peut réussir et rendra donc probablement non pertinente la différenciation entre les deux notions «filles». Les élèves continueront alors à utiliser la notion «parente» indifférenciée. Ce risque a déjà été mis en évidence dans la littérature : les maîtres enseignent une connaissance nouvelle, mais les élèves ne se rendent pas compte du conflit qui existe entre leur connaissance initiale et la nouvelle connaissance. De plus, des études récentes insistent sur le fait que la réussite d'un changement conceptuel est tributaire du fait que soit fournie aux élèves une information «d'arrière-plan» adéquate quant aux notions nouvelles (Duit, 1994). Dans notre cas, le statut fort de la notion «fille» de force pressante a été considéré comme satisfaisant. Nous pensons donc que, si l'on veut que les élèves puissent donner du sens à des faits expérimentaux contredisant leurs idées, l'amélioration<sup>1</sup> du concept faible est un prérequis nécessaire. C'est pourquoi nous avons choisi d'améliorer la notion «fille» faible de pression avant de la faire intervenir dans une situation conflictuelle. Les phases de la stratégie d'enseignement qui est proposée pour favoriser la différenciation conceptuelle chez les élèves sont présentées à la figure 2 et analysées ci-dessous.

---

1 Tout au long de l'article, le terme anglais «*upgrading*», correspondant à une élévation de statut d'une conception, et n'ayant pas d'équivalent exact en français, a été traduit par «amélioration». (NDLR)

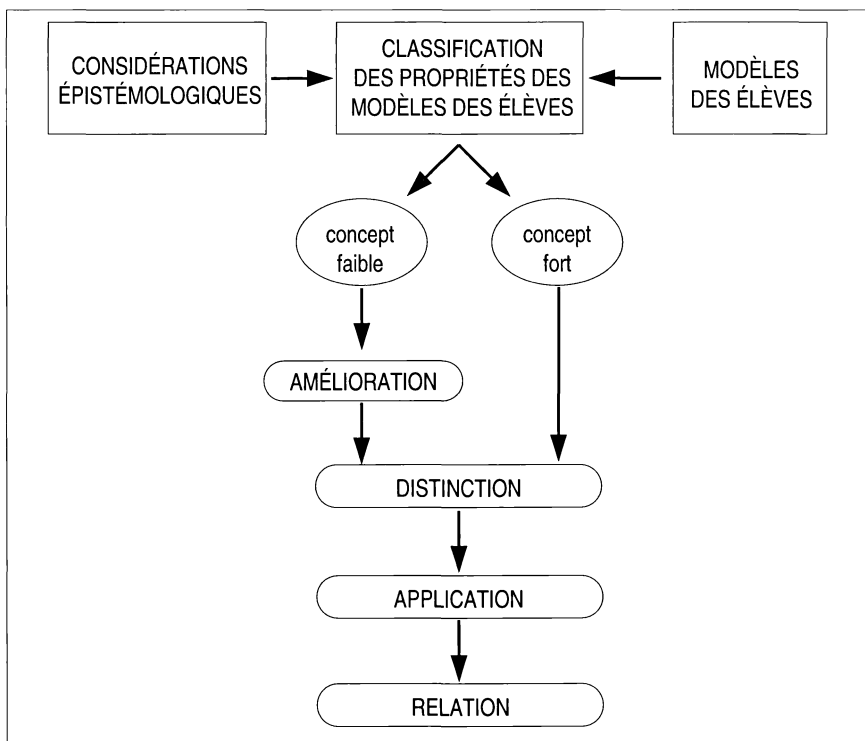


Figure 2 : **Modèle de la stratégie d'enseignement visant une différenciation conceptuelle**

### 3.2. Amélioration de la notion faible

Dans le but d'isoler le concept de pression de celui de force pressante et par voie de conséquence, d'améliorer la notion faible, les deux décisions suivantes ont été prises.

**3.2.1. La façon traditionnelle d'introduire le concept de pression au départ de la formule  $P = F/A$  doit être revue. La pression devrait être introduite comme une grandeur physique primaire et de façon expérimentale** (AMÉLIORATION, dans la figure 2).

Par primaire, nous entendons que la définition de la pression est basée uniquement sur ses propriétés. Ainsi, le concept de pression n'a pas été introduit en passant par la force. Contrairement à ce qui est fait d'habitude, on a choisi dès le départ de décrire et d'interpréter les phénomènes de la mécanique des fluides à l'aide d'un nouveau concept, celui de pression.

L'usage d'une définition mathématique au travers d'une formule voudrait dire que la pression est définie en relation avec d'autres quantités, c'est-à-dire est une grandeur dérivée. De plus, l'idée a souvent été défendue que la simple mémorisation d'une formule par les élèves n'implique pas nécessairement qu'ils soient capables de lui donner une signification physique. La relation directe  $F = P \cdot A$  a été introduite presque à la fin de notre programme (RELATION dans la figure 2), comme une relation entre des grandeurs et pas comme une définition de la pression. Nous soutenons que l'introduction de la pression indépendamment de la force permet d'éviter le renforcement du modèle pression-force et n'amplifie pas le caractère vectoriel et de grandeur extensive que les élèves attribuent à la pression.

Dans cette optique, nous avons fait un effort particulier, au début de notre enseignement, pour inciter les élèves à prédire, décrire et interpréter les phénomènes hydrostatiques en utilisant le concept de pression, en lui donnant la signification décrite plus haut, plutôt que le concept de force ou des notions intuitives. Ceci suppose que les élèves soient impliqués dans des activités expérimentales délibérément choisies pour mettre en œuvre des liquides et des gaz et non des solides. En d'autres termes, le traitement de la pression comme grandeur primaire et son utilisation, en premier lieu, sous forme qualitative (Psillos & Koumaras, 1993) dans le but de décrire et d'interpréter des phénomènes impliquent le choix d'un champ expérimental *ad hoc*.

### ***3.2.2. Les conceptions intuitives qui sont proches du modèle scientifique doivent être renforcées*** (AMÉLIORATION, dans la figure 2).

Il s'agit de la relation de la pression hydrostatique avec la profondeur ainsi qu'avec la nature du fluide. L'augmentation de la pression avec la profondeur est en accord avec les idées intuitives des élèves. Ainsi, les élèves ont eu, au début, à comparer des pressions à différentes profondeurs. Ensuite ces comparaisons ont été renforcées par des mesures de pression à différentes profondeurs au moyen d'un manomètre. Elles ont été également étendues à différents liquides (McLelland, 1987). Cette vérification expérimentale a augmenté la confiance des élèves dans leurs intuitions correctes. En d'autres termes, ces activités ont aidé les élèves à établir un rapport entre leurs intuitions et des faits expérimentaux vérifiés, ce qui à son tour les a aidés à réaliser que la pression est un concept important pour l'étude des phénomènes hydrostatiques.



### 3.3. Distinction entre les notions «filles».

Cette phase met en œuvre la séparation entre les propriétés de la pression et de la force pressante à travers un conflit cognitif. Le conflit sera effectif s'il facilite la restructuration des idées des élèves qui comprendront alors les différences clés entre les concepts (DISTINCTION dans la figure 2). Comme il a été mentionné dans l'analyse épistémologique de la connaissance scientifique, l'additivité de la force pressante et la non-additivité de la pression sont des propriétés qui peuvent être démontrées expérimentalement par des mesures. Cependant la propriété de non-additivité d'une grandeur est contre-intuitive. Donc nous considérons que la validation expérimentale de la non-additivité de la pression peut contribuer à créer une situation conflictuelle pour les élèves.

Dans ce but, nous avons conçu une série d'expériences dont l'interprétation contredit les idées des élèves utilisant le modèle pression-force. Dans leur effort pour réconcilier leurs interprétations contradictoires, les élèves ont dû reconnaître que les deux concepts étaient différents. Il est important de noter que, dans notre stratégie, cette phase ne se présente pas au début mais à la fin. Après avoir renforcé le concept faible, nous conduisons les élèves vers une situation conflictuelle qui doit potentiellement les amener à distinguer clairement les propriétés des deux concepts étudiés. Nous devons souligner ici qu'avant la présentation de ces expériences, les élèves avaient réalisé des activités et répondu à des questions qui devaient les amener à traiter de la même manière la pression dans les gaz et dans les liquides (Kariotoglou & Psillos, 1993). Les expériences utilisées pour créer un conflit sont les suivantes :

a) comparaison de la pression en un point au fond d'un récipient étroit et d'un récipient large contenant de l'eau au même niveau (question 1 – les pressions sont mesurées avec un manomètre «ouvert»)

b) comparaison des forces nécessaires pour détacher du sol deux ventouses de différentes dimensions (question 5, voir figure 3)<sup>1</sup>

---

1 Les différentes forces nécessaires pour détacher deux ventouses de surfaces différentes sont estimées. Ces forces ne sont pas directement mesurées, mais senties par les élèves qui font l'expérience. Nous n'utilisons pas de dynamomètres pendant cette expérience de la séquence, parce que les élèves ne pourraient pas clairement lire la force maximum nécessaire pour détacher les ventouses.

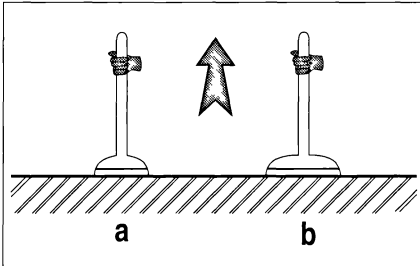
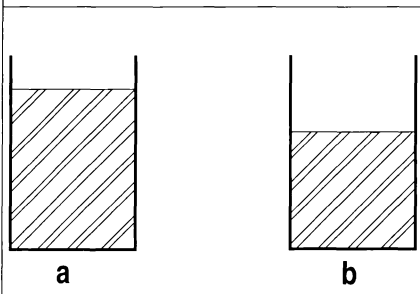
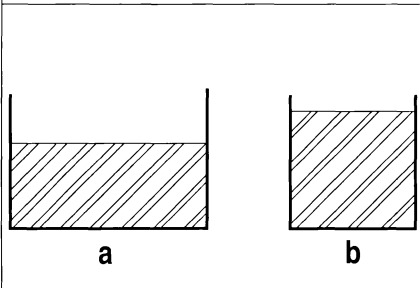
	<p><b>Question 5</b></p> <p>Compare les forces nécessaires pour détacher les ventouses étroite (a) et large (b).</p>
	<p><b>Question 6</b></p> <p>Compare les pressions en un point du fond des deux récipients semblables (a) et (b) contenant respectivement de l'eau à des niveaux différents.</p>
	<p><b>Question 7</b></p> <p>Compare les pressions en un point du fond des deux récipients (a) et (b) ayant des sections différentes et contenant la même quantité d'eau.</p>

Figure 3 : Questions 5, 6, et 7.

Les résultats de ces expériences apparaissent comme plausibles aux élèves qui en jugent au travers de leur connaissance enrichie ; en effet, ils affirment que dans la première expérience les pressions sont identiques car l'eau est au même niveau. Dans la seconde expérience ils disent que la force nécessaire pour arracher la ventouse la plus grande est supérieure à celle nécessaire pour décoller la petite. Les élèves doivent ensuite être guidés de façon explicite pour réaliser que ces deux interprétations sont contradictoires du point de vue du modèle pression-force qu'ils possèdent. En effet, si la pression et la force ne représentent qu'un seul concept pour les élèves, le schéma «un récipient plus grand implique une plus grande pression ou force» devrait s'appliquer aux deux cas et pas seulement au cas des ventouses. Une fois cette contradiction discutée avec les élèves, la nouvelle connaissance (à savoir que les deux concepts sont différents mais reliés) est présentée et clarifiée, de sorte qu'elle devienne acceptable pour eux.

### 3.4. Application de la nouvelle connaissance

Dans le but d'établir l'utilité de la nouvelle connaissance et sa supériorité sur la précédente, deux nouvelles expériences sont proposées aux élèves (questions 6 et 7 de la figure 3). Elles ont été choisies de façon que la nouvelle connaissance permette d'interpréter les deux expériences et que la connaissance initiale ne permette d'interpréter que l'expérience relative à la question 6.

Dans le cas de la question 6 (voir figure 3) les deux connaissances, initiale et nouvelle, conduisent à la réponse correcte car la section des récipients est la même. Ainsi les élèves répondent correctement que les pressions sont égales et que la force exercée sur le fond du récipient (a) est plus grande car le niveau d'eau y est plus élevé. Mais dans le cas de la question 7, où la quantité d'eau dans les deux récipients de sections différentes est identique, les élèves qui raisonnent en termes de leur connaissance initiale (modèle pression-force) répondent à tort que les pressions sont égales, puisque, pour eux, la pression dépend de la quantité de fluide.

### 3.5. Relation entre pression et force pressante

Elle constitue la phase finale de la stratégie de différenciation et a pour but d'établir la relation entre la pression et la force pressante (RELATION à la figure 2). Les élèves sont amenés à discuter et à interpréter les résultats des expériences relatives aux questions 1 (voir figure 1), 6 et 7 (voir figure 3) en utilisant leur nouvelle connaissance. Dans le cas de l'expérience 6, ils se rendent compte que lorsque la surface est maintenue constante, la force pressante est proportionnelle à la pression. Dans le cas de l'expérience 7, ils réalisent que lorsque la force pressante est maintenue constante (quantités d'eau égales), la pression est inversement proportionnelle à la surface. Finalement, dans le cas de l'expérience 1, ils constatent que lorsque la pression est maintenue constante (mêmes niveaux d'eau), la force pressante est proportionnelle à la surface. Ces trois relations sont alors résumées dans la formule  $F = P \cdot A$ , que les élèves appliquent alors à la résolution d'exemples numériques simples.

La figure 4 illustre l'application de la séquence d'enseignement visant la désintégration de la notion «parente» en deux notions «filles».

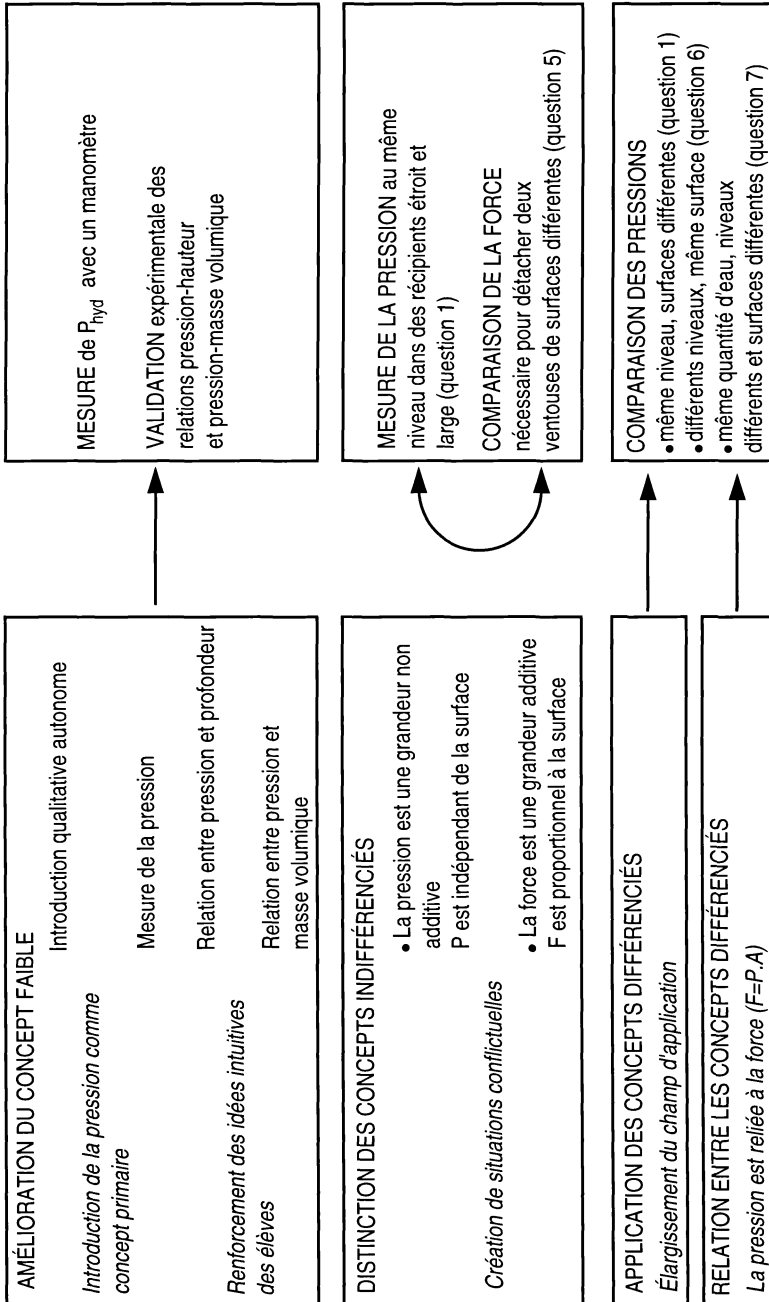


Figure 4 : Application du modèle de stratégie d'enseignement

## 4. APPLICATION ET RÉSULTATS DE LA STRATÉGIE

Notre stratégie de différenciation entre pression et force pressante fait partie d'un programme constructiviste innovant (seize heures) pour la mécanique des fluides ; elle a été appliquée plusieurs fois dans des groupes expérimentaux de seconde année (13-14 ans) du Gymnasium, qui est l'école secondaire obligatoire en Grèce. Comme cela a déjà été indiqué ailleurs (Kariotoglou et al., 1993), l'étude macroscopique des trois états de la matière et l'introduction des fluides comme catégorie unifiant les liquides et les gaz doit précéder l'introduction de la pression en tant que concept primaire, puisque la pression prend son sens dans le contexte des fluides. Dans ce chapitre nous présentons les parties de l'application de la stratégie en classe relatives à la phase d'amélioration et à la phase de distinction (figure 2). Nous présentons également des résultats quantitatifs concernant la différenciation entre pression et force pressante.

L'application et les résultats dont il est rendu compte dans la présente étude concernent deux classes comprenant en tout 58 élèves. 214 élèves constituaient le groupe contrôle. Ceux-ci provenaient de neuf classes de seconde année du Gymnasium, issues tant du milieu urbain que rural d'un peu partout en Grèce. Tous les groupes étaient composés d'élèves de capacité moyenne, d'après le jugement de leurs enseignants, et avaient reçu une formation dans le domaine de six heures au total à l'école primaire (11-12 ans) ; les sujets qui y avaient été abordés dans le cadre de la mécanique des fluides incluaient l'introduction traditionnelle de la pression ( $P = F/A$ ), la connaissance de ce que les fluides exercent une pression dans toutes les directions, que la pression hydrostatique varie avec la profondeur et dépend du type de liquide, et l'étude de quelques applications hydrostatiques et atmosphériques de la pression.

Les élèves du groupe contrôle ont suivi au Gymnasium le programme national grec sur la mécanique des fluides, au cours duquel la pression est également introduite par la formule  $P = F/A$ . Le programme comprenait : la loi de l'hydrostatique, le principe d'Archimède, les conditions de flottaison et de non-flottaison, le calcul de la masse volumique, la mesure de la pression atmosphérique et ses applications ainsi que les propriétés des gaz. Au Gymnasium, conformément au programme national, la mécanique des fluides est enseignée après la mécanique classique (du corps solide) qui comprend un enseignement du concept de force à raison d'environ cinq heures, dont la définition de la force (la force est ce qui permet la déformation des objets ou la modification de leur mouvement), le caractère vectoriel de la force, la mesure et la composition des forces.

## 4.1. Application de la stratégie

Nous présentons ci-dessous quelques extraits choisis de notre séquence d'enseignement, de même que les réactions des élèves illustrant quelques étapes de leur évolution conceptuelle. Nous voudrions mentionner ici notre sentiment, provenant de l'observation de l'enseignement comme des extraits eux-mêmes, que le développement des idées des enfants ne prend pas la forme de changements abrupts, mais plutôt celle d'une transition graduelle à partir de leurs idées intuitives initiales vers d'autres plus compatibles avec le modèle scientifique. Le processus développemental ne doit pas nécessairement exclure le retour de certains élèves vers leurs idées précédentes, avant que finalement ils ne développent des idées plus scientifiques.

### 4.1.1. Amélioration du concept faible

Une étape importante pour l'amélioration du concept faible (pression) est la validation expérimentale de la dépendance de la pression vis-à-vis de la profondeur et de la nature du fluide, de même que l'introduction de la loi fondamentale de l'hydrostatique  $P = \varepsilon \cdot h$ . Nous devons signaler ici que la formule complète est en fait soit  $P = \varepsilon \cdot h + P_{at}$  (1), soit  $\Delta P = \varepsilon \cdot h$  (2). Cependant l'introduction de  $\Delta P$  aurait été difficile pour des élèves de cet âge (13-14 ans), c'est pourquoi la formule (2) n'a pas été utilisée. Au début nous ne pouvions pas introduire le terme  $P_{at}$  dans la formule (1) car les élèves n'avaient pas étudié le principe de Pascal. La pression atmosphérique fut ajoutée à la formule à la fin de la séquence en tant qu'application du principe de Pascal. Voici un extrait d'un dialogue en cours d'enseignement :

E : *Bien, est-ce que tu penses que la pression dans un liquide dépend bien de la profondeur ?*

S<sub>1</sub> : *Plus on va profond, plus la pression augmente.*

S<sub>2</sub> : *Plus on va profond (dans la mer) plus nos oreilles nous font mal.*

S<sub>3</sub> : *Oui si un bateau va vraiment profond, il se casse, comme le Titanic, qui s'est coupé en trois morceaux.*

E : *À part cela, as-tu d'autres arguments à l'appui du fait que la pression dépend de la profondeur ?*

S<sub>4</sub> : *C'est à vous Monsieur de nous dire cela car vous le savez mieux que nous.*

S<sub>5</sub> : *Allons voir dans notre livre.*

E : *Et si le livre ne peut pas nous aider dans de tels cas ?*

S<sub>4</sub> : *Faisons des mesures.*

S<sub>5</sub> : *Expérimentons.*

E : *Que devrions-nous utiliser pour la mesurer (la pression) ?*

S<sub>6</sub> : *Un manomètre.*

E : *Celui que tu utilises pour mesurer la tension de ton grand-père ?*

S<sub>7</sub> : *Non, nous utiliserions celui que nous avons l'autre jour... cette chose ronde (la jauge manométrique).*

(Le maître mesure la pression dans un haut récipient contenant de l'eau au moyen du manomètre).

E : *J'ai fait une mesure à cet endroit, est-ce que c'est suffisant ?*

S<sub>8</sub> : *Oui.*

S<sub>9</sub> : *Non, pas qu'un seul point... cela ne voudrait rien dire, nous avons besoin d'un autre point.*

S<sub>10</sub> : *Oui, comment autrement être sûrs qu'elle augmente ou diminue en ne nous servant que d'un point, il nous en faut deux.*

Impliquer des élèves dans des mesures suppose de se servir opérationnellement de leurs idées, et ceci est essentiel pour leur évolution. Les extraits ci-dessus montrent que les élèves considèrent que les mesures contribuent à les assurer de l'exactitude de leur idée intuitive d'augmentation de la pression avec la profondeur. En même temps, il est évident que la mise en œuvre de leur connaissance précédente est bien réelle puisqu'ils demandent pour la mesure de la pression le même appareil que celui qui a été utilisé pour son introduction. Évidemment, la procédure doit devenir plus élaborée, parce que les élèves réalisent bien la nécessité de deux mesures pour confirmer la relation, mais ils ne réalisent pas la nécessité d'en avoir davantage pour permettre un traitement mathématique. À ce stade, le maître démontre la relation entre pression et masse volumique comme l'extrait suivant l'illustre.

E : *Si nous utilisons un autre liquide, par exemple de l'alcool, la pression changera-t-elle à cet endroit ?*

S<sub>1</sub> : *Oui parce que le liquide est différent.*

S<sub>2</sub> : *Plus le liquide a une masse volumique importante, plus il provoque de la pression.*

S<sub>3</sub> : *Parce que cela pèse plus, c'est-à-dire que cela exerce plus de pression sur un centimètre carré qu'un liquide plus léger.*

E : *Finalement, quel est le facteur qui cause un changement de pression ? Peut-être la couleur ?*

S<sub>4</sub> : *Non parce que nous pouvons le peindre. C'est plus... lourd... euh... c'est plus dense.*

E : *Tu veux dire que la masse volumique change, mais comment pouvons-nous le vérifier ?*

S<sub>5</sub> : *Nous prendrons des mesures pour deux liquides... de l'eau et de l'alcool.*

E : *À quelle profondeur ?*

S<sub>6</sub> : *Au fond.*

E : *Oui, mais quelle quantité de liquide allons-nous utiliser ? N'importe quelle quantité ?*

S<sub>7</sub> : *Juste comme avant... euh... nous prendrons des mesures à la même profondeur.*

Cet extrait aussi montre que les élèves trouvent dans les mesures un moyen de confirmer leurs idées intuitives sur l'influence du type de liquide et de la masse volumique sur la pression. Nous pensons que l'utilisation de mesures contribue à renforcer de beaucoup leur assurance quant à la validité de la relation entre pression, profondeur et type de liquide.

Après des activités comme celles décrites ci-dessus, vient l'introduction de la formule mathématique de la loi fondamentale de l'hydrostatique. L'effort fait pour accroître l'assurance de sa validité est illustré par l'extrait suivant :

E : *D'après vous, qu'est-ce que ces expériences nous ont appris ?*

S<sub>1</sub> : *Nous sommes sûrs maintenant que la pression augmente avec la profondeur.*

E : *Quoi d'autre ?*

S<sub>2</sub> : *Et (qu'elle augmente) avec la masse volumique du fluide.*

E : *Les idées que nous avons confirmées expérimentalement peuvent être résumées par une relation mathématique simple (il écrit  $P = \epsilon \cdot h$  au tableau), qui fixe la pression hydrostatique, une fois donnés la profondeur et le poids spécifique du liquide, qui est une grandeur semblable à la masse volumique. Quel est le symbole de la profondeur ?*

S<sub>3</sub> : *C'est h, comme le symbole de la hauteur.*

S<sub>4</sub> : *Et  $\epsilon$ ... est le symbole de la masse volumique.*

E : *Nous avons dit que  $\epsilon$  était le symbole du poids spécifique, qui ressemble à la masse volumique. Maintenant, comment pouvons-nous calculer la pression hydrostatique ?*

S<sub>5</sub> : *En faisant le produit de la profondeur par le poids spécifique.*



On donne ensuite aux élèves deux problèmes où on leur demande de comparer des pressions sans utiliser les unités de mesure, étant donné que celles-ci troublent les élèves. Des observations comme celles mentionnées ci-dessus nous ont conduits à la conclusion que les idées des élèves à propos de la pression et de sa dépendance vis-à-vis de la profondeur et du poids spécifique étaient devenues plus précises et que la phase d'amélioration tendait à sa conclusion. Il faut noter ici que nous avons fait usage du poids spécifique en lieu et place de la masse volumique parce que, conformément au programme national grec, la gravité est introduite l'année suivante.

#### **4.1.2. Distinction entre pression et force pressante**

Comme signalé ci-dessus, la plupart des élèves répondent correctement aux questions 1 et 5. Pour la question 1 (voir figure 1), ils affirment que les pressions sont les mêmes parce que les hauteurs d'eau sont les mêmes, en accord avec l'enseignement. Ils acceptent également que la grande ventouse soit plus difficile à détacher que la petite, à cause de leurs tailles différentes. Cependant certains élèves insistent sur leurs conceptions initiales (le modèle pression-force), comme  $S_2$  dans l'extrait suivant.

E : *Compare les pressions en un point au fond des récipients (a) et (b).*

$S_1$  : *Elles sont égales, car nous avons appris que la pression dépend de la profondeur et du type de liquide.*

$S_2$  : *La pression est plus grande dans le grand récipient, parce qu'il contient plus d'eau.*

E : *Et maintenant ? Comment allons-nous décider ?*

$S_3$  : *Nous allons mesurer la pression dans les deux récipients.*

(Les mesures sont faites et les élèves observent l'égalité des pressions.)

E : *Que dites-vous maintenant ?*

$S_1$  : *Comme nous l'avons dit avant, elles sont les mêmes parce qu'elles dépendent de la profondeur.*

$S_2$  : *Il semble que la quantité d'eau n'a pas d'importance.*

E : *Maintenant prenez ces deux ventouses et fixez-les au sol. Ensuite essayez de les détacher. Qu'observez-vous ? Quelle ventouse nécessite la plus grande force pour la détacher ?*

$S_4$  : *La plus grande... est la plus dure à détacher.*

E : *Peux-tu l'expliquer ?*

*S<sub>5</sub> : Parce que la ventouse est plus grande... nous appliquons une force plus grande.*

Il est important de souligner que les élèves qui utilisent le modèle pression-force et qui affirment que les pressions envisagées à la question 1 sont égales, mais que les forces envisagées à la question 5 sont inégales, se trouvent face à une contradiction importante : ces élèves, pour être cohérents, devraient répondre que les pressions et les forces dans les deux questions sont, soit égales, soit plus petites pour la surface plus petite. Ils ne perçoivent pas directement eux-mêmes la contradiction. Ainsi, à ce stade, le rôle du maître, qui doit la rendre explicite, est crucial. Lorsque la contradiction est rendue évidente pour les élèves, il les conduit à un conflit avec leurs idées initiales :

*E : Dans le cas des ventouses, vous dites que la force la plus importante doit être exercée sur la ventouse la plus grande, alors que dans le cas des récipients, vous dites que la pression est la même parce que la profondeur est la même. Qu'en pensez-vous ?*

*S<sub>1</sub> : Cela semble raisonnable, non ?*

*E : Pour moi ça ne l'est pas parce que certains d'entre vous disent que la pression et la force, c'est la même chose. Je pense que si la pression et la force étaient la même chose, alors elles sont, soit égales dans les deux cas, soit plus importantes pour la plus grande surface dans les deux cas.*

*S<sub>2</sub> : Vous avez peut-être raison, monsieur...*

*S<sub>3</sub> : Mais nous les avons mesurées, alors...*

*S<sub>4</sub> : Je ne sais pas ce qui est arrivé...*

*E : En effet les comparaisons sont correctes puisque nous avons mesuré. Mais qu'en est-il si la pression et la force pressante sont des choses différentes comme certains d'entre vous le prétendent ?*

*S<sub>5</sub> : Ah... C'est pour cela que vous nous corrigez lorsqu'on disait «pression», en disant qu'on devrait dire «force».*

*S<sub>6</sub> : De plus, vous disiez «la pression qui existe» et «la force qui est exercée».*

À ce stade, nous estimons que nous avons terminé d'introduire un conflit cognitif chez les élèves et que nous avons créé une insatisfaction face à l'inaptitude de leur connaissance première à interpréter les phénomènes étudiés. La réalisation de ces contradictions facilite la distinction entre les propriétés de la pression et de la force pressante et contribue à la construction de deux concepts séparés.

## 4.2. Résultats quantitatifs

Les résultats des post tests après enseignement et des tests passés huit mois plus tard (post-post test) pour les groupes expérimentaux et de contrôle sont présentés dans le tableau 2 reprenant les pourcentages de réponses correctes aux questions impliquant la prédiction et l'interprétation de phénomènes nécessitant le concept de pression. Nous communiquons ici les résultats des questions 1, 3, 4 (voir figure 1), 8 et 9 (voir figure 5). Ces questions sont relatives à des comparaisons de pressions dans diverses situations et font partie d'un questionnaire plus important utilisé dans le contexte de notre projet de recherche dans le domaine des fluides.

Nous considérons que les élèves qui ont répondu correctement aux cinq questions ont réussi à différencier les concepts de pression et de force pressante. Ces élèves reconnaissent que la pression est une grandeur non additive (questions 1 et 3) dans différents contextes et dans des situations simples ou complexes (questions 1, 4 et 9). Ils savent aussi que la pression ne possède pas une direction, ce qui est une propriété de la force pressante mais pas de la pression (question 8, voir figure 5).

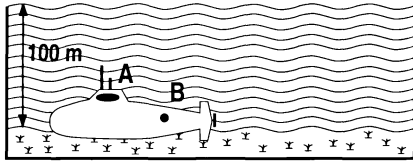
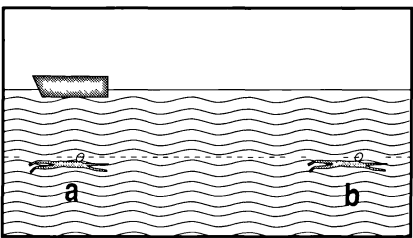
	<p><b>Question 8</b></p> <p>Le sous-marin repose sur le fond de la mer à une profondeur de 100m.            Au point A au sommet de l'écouille, la pression est de 12 atmosphères. Quelle est la pression au point B de la fenêtre latérale, si l'on considère que les points A et B sont au même niveau ?</p> <p>a) 12 Atm    b) 11 Atm    c) 6 Atm            d) 1 Atm    e) 0 Atm</p> <p>Justifier votre réponse.</p>
	<p><b>Question 9</b></p> <p>Compare les pressions en un point du dos des plongeurs (a) et (b).</p>

Figure 5 : Questions 8 et 9

Le tableau 2 fournit les pourcentages des élèves répondant correctement aux cinq questions, ainsi que les intervalles de confiance correspondant au seuil de signification  $\alpha = 0.05$ . Nous rappelons que deux valeurs de pourcentage ont une différence statistiquement significative si leurs intervalles de confiance ne se recouvrent pas. Par exemple, les pourcentages  $78.0 \pm 10.5$  et  $40.0 \pm 6.8$  de la première ligne du tableau 2 diffèrent significativement parce que leurs intervalles respectifs  $[67.5, 88.5]$  et  $[33.2, 46.8]$  ne se recouvrent pas. À l'inverse, les pourcentages  $78.0 \pm 10.5$  et  $65.5 \pm 12.0$  ne diffèrent pas significativement car leurs intervalles respectifs  $[67.5, 88.5]$  et  $[53.5, 77.5]$  se recouvrent dans l'intervalle  $[67.5, 77.5]$ .

Les élèves des groupes expérimentaux ont fourni des réponses correctes aux cinq questions du post test à raison de 60.5% à 83%, alors que les pourcentages correspondants pour les groupes de contrôle se situaient dans la tranche 20%-54%. Pour toutes les questions, la différence entre les groupes expérimentaux et de contrôle est statistiquement significative au niveau  $\alpha = 0.05$ . De plus, le pourcentage de réponses correctes pour les groupes expérimentaux se maintient à peu de chose près, huit mois après enseignement (post-post test), alors que pour les groupes de contrôle ce pourcentage chute significativement pour quatre des cinq questions. Ces résultats sont résumés au tableau 2.

Question	POST TEST		POST POST TEST	
	Groupe expérimental (N = 58)	Groupe contrôle (N = 214)	Groupe expérimental (N = 58)	Groupe contrôle (N = 214)
1	78.0 ± 10.5	40.0 ± 6.8	65.5 ± 12.0	25.0 ± 5.8
3	80.5 ± 10.5	53.0 ± 6.7	93.0 ± 6.5	43.5 ± 6.9
4	60.5 ± 12.5	20.0 ± 5.4	62.0 ± 12.5	0
8	83.0 ± 9.5	54.0 ± 6.7	84.5 ± 9.5	40.0 ± 6.8
9	71.0 ± 12.5	38.0 ± 6.5	68.0 ± 12.5	15.0 ± 5.0

Tableau 2 : Pourcentages de réponses correctes aux questions – intervalles de confiance

## 5. CONCLUSIONS

La différenciation conceptuelle est un problème important dans l'enseignement des sciences puisque, du point de vue de la connaissance scientifique, il apparaît que les élèves analysent une série de phénomènes

physiques en termes de notions indifférenciées comme dans le cas de la chaleur et de la température (Stavy & Berkovitz, 1980 ; Wiser, 1985), du poids et de la masse volumique (Smith et al., 1985) ou de l'électricité (Shipstone, 1985 ; Psillos et al., 1988). Récemment le manque de différenciation conceptuelle a été considéré comme une caractéristique essentielle du raisonnement des élèves à propos des phénomènes physiques (Viennot, 1993). Dans notre cas, le développement conceptuel des élèves a mis en œuvre un changement de leurs vues initiales dans le but d'appréhender la connaissance scientifique à propos des liquides. Les conséquences d'un tel changement ont été la construction des différentes propriétés de deux concepts distincts prenant alors la place d'une notion indifférenciée, l'acquisition de connaissances à propos de la nouvelle relation entre eux, comme c'est le cas de la relation  $F = P \cdot A$ , ainsi que l'aptitude à interpréter de nouveaux phénomènes à l'aide de ces nouvelles propriétés. Conformément à des propositions récentes, de tels développements mettent en œuvre la restructuration des modèles initiaux des élèves (Vosniadou & Brewer, 1987) qui dans notre cas concernent les liquides.

Il est important de noter que le développement conceptuel des élèves a été progressif tout au long de l'enseignement et a été considérablement facilité, d'abord par l'amélioration de leur connaissance initiale, ensuite par l'utilisation de faits expérimentaux conflictuels lorsque les élèves avaient acquis la connaissance prérequisse pour comprendre les contradictions dans leurs interprétations. Nous considérons que la stratégie proposée ici tire avantage à la fois des aspects relatifs au développement et de ceux relatifs au conflit, en ce sens qu'elle se construit à partir des modèles des élèves et les amène à des situations conflictuelles lorsque cela devient nécessaire et que les élèves ont été préparés au conflit cognitif. Une telle stratégie peut fournir une alternative au paradoxe des apprenants : la connaissance nouvelle ne prend du sens pour les apprenants que lorsqu'ils ont déjà quelque information à son sujet (Bereiter, 1985). D'autres recherches sont encore nécessaires pour étudier les possibilités d'application de la stratégie proposée à des notions indifférenciées dans d'autres domaines.

## BIBLIOGRAPHIE

- BEREITER C. (1985). Toward a solution of the learning paradox. *Review of Educational Research*, vol. 55, n° 2, pp. 201-226.
- CAREY S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA, MIT Press.
- CHINN C. & BREWER W. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition : A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, vol. 63, n° 1, pp. 1-49.

- DUIT R. (1994). Conceptual change approaches in science education. Paper presented at the *Symposium on conceptual change*. Jena, Germany.
- ELTON L. (1971). *Concepts of Classical Mechanics*. Mac Graw Hill, New York.
- ENGEL-CLOUGH E. & DRIVER R. (1985). What do children understand about pressure in fluids ? *Research in Science and Technological Education*, vol. 3, n° 2, pp. 133-144.
- GIESE P. A. (1987). Misconceptions about water pressure. In *Proceedings of the 2nd International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Cornell University, vol. 1, pp. 142-148.
- HALIDAY D. & RESNICK R. (1978). *Physics*. New York, Wiley.
- HUGHES W.F. & BRIGHTON J.A. (1967). *Theory and Problems of Fluid Dynamics*. New York, Schaum Publishing Co.
- KARIOTOGLOU P., PSILLOS D. & VALASSIADES O. (1990). Understanding Pressure : didactical transpositions and pupils' conceptions. *Physics Education*, vol. 25, n° 2, pp. 92-96.
- KARIOTOGLOU P. (1991). *Teaching and Learning issues on Fluid Mechanics at the Gymnasium level*. Unpublished Ph.D. Thesis, Physics Department, Aristotle University of Thessaloniki (in Greek).
- KARIOTOGLOU P. & PSILLOS D. (1993). Pupils' Pressure Models and their implications for Instruction. *Research in Science and Technological Education*, vol. 11, n° 1, pp. 95-108.
- KARIOTOGLOU P., KOUMARAS P. & PSILLOS D. (1993). A constructivist approach for teaching fluid phenomena. *Physics Education*, n° 28, pp. 164-169.
- MAYER M. (1987). Common sense knowledge versus scientific knowledge. The case of pressure, weight and gravity. In *Proceedings of the 2nd International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Cornell University, vol. 1, pp. 299-310.
- McLELLAND J. (1987). Pressure points. *Physics Education*, n° 22, p. 107.
- POSNER G.C., STRIKE K.A., HEWSON P.W. & GERTZOG W.A. (1982). Accommodation of scientific conception : towards a theory of conceptual change. *Science Education*, vol. 66, n° 2, pp. 211-227.
- PSILLOS D., KOUMARAS P. & TIBERGHIEU A. (1988). Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching sequence on DC circuits. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 1, pp. 29-43.
- PSILLOS D. & KOUMARAS P. (1993). Multiple Causal Modelling of Electrical Circuits for Enhancing Knowledge Intelligibility. In M.Caillot (Ed.), *Learning Electricity and Electronics with Advanced Educational Technology*, pp. 57-75.
- SÉRÉ M.-G. (1985). *Analyse des conceptions de l'état gazeux qu'ont les enfants de 11 à 13 ans, en liaison avec le notion de pression, et proposition de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution*. Thèse, Université Paris VI.
- SHIPSTONE D.M. (1985). On childrens' use of conceptual models in reasoning about current electricity. In R. Duit et al. (Eds), *Aspects of Understanding Electricity*. Kiel, IPN, pp. 73-82.
- SMITH C., CAREY S. & WISER M. (1985). On differentiation : A case study of the development of the concepts of size, weight and density. *Cognition*, n° 21, pp. 177-237.
- SOMMERFELD A. (1950). *Mechanics of deformable bodies*. London, Academic Press Inc. Publishers.
- STAVY R. & BERKOVITZ B. (1980). Cognitive Conflict as a basis for Teaching Quantitative Aspects of the concept of Temperature. *Science Education*, vol. 64, n° 5, pp. 679-692.

- VIENNOT L. (1993). Fundamental patterns in common reasoning : examples in Physics. In P. Lijnse (Ed.), *European Research in Science Education, Proceedings of the first Ph.D Summerschool*. Utrecht, Holland, pp. 33-47.
- VOSNIADOUS S. & BREWER W. (1987). Theories of Knowledge Restructuring in Development. *Review of Educational Research*, vol. 57, n° 1, pp. 51-67.
- WISER M. (1985). The differentiation of Heat and Temperature : History of Science and novice-expert shift. In S. Strauss (Ed.), *Ontogeny, Phylogeny and Historical Development*. Norwood, N.J. Ablex, pp. 1-48.

## ANNEXE

### Quelques commentaires du point de vue de la physique

#### 1. PRESSION HYDROSTATIQUE

La pression hydrostatique est une quantité scalaire, une fonction de point, elle existe en chaque point d'un liquide dans un champ de forces (par exemple le champ gravitationnel).

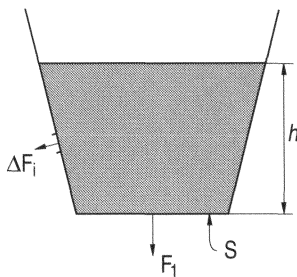
La pression hydrostatique en chaque point d'un liquide au repos dans l'atmosphère est donnée par la formule :  $P = P_{\text{atm}} + \varepsilon \cdot h$  (1)

Cette formule résulte du principe de Pascal. C'est la pression mesurée par un manomètre type «fermé» (pression absolue), alors que d'autres types de manomètres «ouverts» (pression relative par rapport à la pression atmosphérique), qui sont **habituellement** utilisés dans les classes, mesurent seulement la composante hydrostatique (pression relative).

Si l'on suppose que  $P_{\text{atm}}$  est la même en tout point du liquide, la différence de pression entre deux points d'un liquide s'exprime à partir de (1) :  $\Delta P = \varepsilon \cdot h$  (2) (Sommerfeld, 1950, p. 41 ; Haliday & Resnick, 1978, p. 371).

#### 2. FORCE PRESSANTE

La force pressante exercée sur le récipient par le liquide qu'il contient est due à la pression hydrostatique ; elle se calcule par addition vectorielle des forces exercées sur les côtés et le fond.



- a) La force sur le fond est égale à :  $F_1 = \varepsilon \cdot h \cdot S$   
 b) La force sur les côtés se calcule en ajoutant (ou intégrant) les forces élémentaires  $\Delta F_i$  exercées sur les éléments de surface  $\Delta S_i$  :  $\Delta F_i = \varepsilon \cdot h_i \cdot \Delta S_i$   
 Dans ce calcul, nous ne prenons pas en compte les forces sur les côtés et le fond dues à la pression atmosphérique,  $F_{\text{atm}} = P_{\text{atm}} \cdot S$ , pour la raison suivante : l'ensemble du système (récipient + liquide) est considéré comme étant dans l'atmosphère, ce qui implique que les forces dues à l'atmosphère sont exercées à la fois sur les **faces interne et externe** du récipient et du liquide. Le résultat est que la force totale de l'atmosphère sur le récipient est égale à zéro.



### 3. ADDITIVITÉ DE LA FORCE PRESSANTE ET NON-ADDITIVITÉ DE LA PRESSION

Considérons deux récipients 1 et 2, contenant de l'eau à des hauteurs  $h_1$  et  $h_2$ .

Les forces pressantes exercées sur le fond et les côtés des récipients sont respectivement  $F_{b1}$ ,  $F_{b2}$  et  $F_{s1}$ ,  $F_{s2}$ , ces dernières étant verticales, comme précisé dans le paragraphe précédent.

Si nous transférons l'eau contenue dans les récipients 1 et 2 dans le récipient 3 (de dimensions arbitraires), l'eau atteindra le niveau  $h_3$ .

On a alors  $W_3 = W_1 + W_2$  (3)

$W_i$  étant le poids de la quantité d'eau  $i$ .

En utilisant les notations définies ci-avant, nous avons

$$(3) \Rightarrow \quad F_{b3} + F_{s3} = (F_{b1} + F_{s1}) + (F_{b2} + F_{s2})$$

$$F_3 \quad \quad = \quad F_1 \quad + \quad F_2$$

$F_i$  : force totale exercée sur le récipient par la quantité d'eau  $i$

Les forces pressantes sur les récipients sont donc additives.

Si les trois récipients sont cylindriques, les forces pressantes sur les côtés s'éliminent ( $F_{si} = 0$ ), ce qui signifie que dans ce cas la force pressante totale sur le récipient est égale à la force pressante totale sur le fond.

Par ailleurs, les pressions (dues à l'eau) en un point du fond des trois récipients sont respectivement  $P_1 = \varepsilon.h_1$ ,  $P_2 = \varepsilon.h_2$ ,  $P_3 = \varepsilon.h_3$ . Comme les récipients sont de dimensions arbitraires, on a en général  $h_1 + h_2 \neq h_3 \Rightarrow P_1 + P_2 \neq P_3$ , où  $P_i$  est la pression en un point du fond du récipient  $i$ . Ceci montre que les pressions au fond du récipient ne sont pas additives.

C'est ce que nous entendons par additivité des forces pressantes, par opposition à la non-additivité des pressions.

## L'histoire des sciences dans la formation scientifique des maîtres de l'école élémentaire

Jean ROSMORDUC

Université de Bretagne Occidentale  
Faculté des Sciences et des Techniques  
BP 809  
29285 Brest cedex, France

### Résumé

*«Polyvalence» individuelle de chaque professeur d'école ou «polyvalence» d'une équipe pédagogique restreinte ? L'auteur argumente en faveur de la deuxième formule. Dans le domaine scientifique, une culture commune de l'équipe serait nécessaire. L'objet de l'article est de montrer que l'histoire des sciences doit être l'une des composantes d'une telle culture.*

**Mots clés :** polyvalence, équipe, culture, sciences, histoire.

### Abstract

*Individual polyvalency of every primary school teacher or polyvalency of a limited team of teachers ? The author marshals his arguments for the second alternative. In the scientific field, a common culture should be shared by each member of the team. The purpose of this article is to show that the history of science must be part and parcel of this type of culture.*

**Key words :** polyvalency, team, sciences, history.

## Resumen

«Polivalencia» individual de cada profesor de escuela o «polivalencia» de un equipo pedagógico restringido ? El autor argumenta en favor de la segunda fórmula. En el dominio científico, una cultura común del equipo sería necesaria. El objeto de este artículo es de mostrar que la historia de las ciencias debe ser uno de los componentes de una tal cultura.

**Palabras claves :** polivalencia, equipo, ciencias, historia.

L'intérêt de l'introduction de l'histoire des sciences dans l'enseignement a été exposé dans de multiples articles. Les plus anciens datent de quelques décennies, mais les plus nombreux ont été publiés depuis vingt-cinq ans environ. Au départ, reprenant parfois sans un examen critique suffisant la thèse du «*parallélisme*»<sup>1</sup>, certains de leurs arguments se sont révélés non valables, et ont nui à la crédibilité de la démonstration.

Le contexte a changé depuis cette époque. Ayant beaucoup travaillé, un peu appris, pris connaissance des travaux de recherche effectués (en didactique, en science de l'éducation), souvent discuté et essayé de réfléchir sereinement, j'ai, comme quelques autres, nuancé mes affirmations, abandonné quelques positions contestables, mais je n'ai pas changé d'avis – au contraire ! Je continue à penser que **l'approche historique est l'une des «entrées» – une entrée nécessaire** (mais non suffisante) – **dans une culture scientifique**. Ce propos vaut pour tous, notamment pour ceux qui deviendront plus tard des «*travailleurs scientifiques*» (chercheurs, enseignants de sciences, ingénieurs, techniciens).

Ce «point de vue» n'a toutefois pas comme objectif de traiter de tous les problèmes, de tous les aspects et de tous les publics possibles d'un tel enseignement. Une seule catégorie m'intéresse ici, celle des professeurs des écoles. La question posée est donc la suivante : en quoi l'histoire des sciences peut-elle contribuer à former de façon pertinente ce corps d'enseignants ?

En bonne logique, il faut commencer par s'interroger sur la définition de ces professeurs – fût-ce brièvement – par se demander ensuite de quel

---

1 Dans sa forme extrême, cette thèse est une transposition de la «*loi biogénétique fondamentale*» de Haeckel : «*l'ontogénèse récapitule la phylogénèse*». Dans la pratique, elle a conduit à rechercher, dans l'histoire des sciences et des idées scientifiques, les mêmes étapes (ou stades, ou périodes) que dans la formation scientifique individuelle, en prenant appui sur des analogies de réaction ou de raisonnement. Elle a inspiré pour partie, avant la Seconde Guerre mondiale, des auteurs comme G. Bachelard et P. Langevin, mais bien davantage encore J. Piaget jusqu'à la fin de sa vie. Voir aussi G. Canguilhem et al. (1985) et D. Raichvarg (1987).

type de formation ils ont besoin en sciences. L'apport de ces disciplines à l'instruction et à l'éducation doit être rapidement examiné. Les contributions possibles de l'histoire des sciences peuvent apparaître à travers ces différents points, de même que ses éventuels bienfaits spécifiques.

## 1. QUELLE POLYVALENCE ?

Selon les textes officiels, le maître de l'école élémentaire doit être «*polyvalent*». Que faut-il entendre par là ?

J.-L. Martinand fait remarquer que cette caractérisation est récente (Martinand, 1994). Les instituteurs français ont été, jusque dans les années 1970, recrutés par un concours qui intervenait à la fin de la troisième de collège (après neuf années de scolarité). À l'époque où le dispositif fonctionnait conformément au modèle prévu (approximativement jusqu'à la Seconde Guerre mondiale), l'élève admis entrait dans une École Normale d'Instituteurs (ou d'Institutrices). Il y recevait une réelle formation professionnelle et terminait par un diplôme – le Brevet Supérieur avant la guerre de 1939-45, le Baccalauréat ensuite. Nommé dans une classe à la rentrée suivante, il passait au bout de quelques mois un Certificat d'Aptitude Professionnelle, le qualifiant pour enseigner à l'école élémentaire.

Les futurs instituteurs avaient suivi, pour la plupart, une scolarité presque identique. Si certains d'entre eux goûtaient davantage les sciences, et d'autres les lettres, ils étaient en principe capables d'enseigner toutes les matières. Il n'est pas certain que l'adéquation entre les connaissances de ces maîtres et le savoir social ait subsisté pendant les cinquante années où, à quelques réformes près, la formule s'est maintenue pratiquement en l'état. Le décalage est toutefois resté relativement limité.

Enjambons quelques années : nous sommes à mi-chemin de la dernière décennie du siècle. Sans prétendre à une analyse exhaustive, relevons quelques données significatives des changements qui sont intervenus.

Dans l'environnement social des enfants et des enseignants, d'abord. La plupart des objets techniques, dont ils sont entourés, n'existaient pas il y a peu de temps. La majorité de ces objets provient aujourd'hui d'applications technologiques de travaux scientifiques. En 1935, une minorité de foyers possédait un poste de TSF. La population était à dominante rurale, les revues et albums documentaires pour enfants étaient assez rares. Toutes les familles – ou presque – ont maintenant un poste de télévision, voire un magnétoscope. Par l'intermédiaire de médias multiples, un flot d'informations arrive aux individus...

Dans le mode et le niveau de recrutement des maîtres, ensuite. En 1990 et 1991 ont été créés en France les Instituts Universitaires de Formation des Maîtres. Pour y accéder, les étudiants doivent être titulaires d'**une licence** spécialisée ou semi-spécialisée, c'est-à-dire d'un diplôme à Baccalauréat + 3 années. Pour plus de 80% de ces étudiants, il s'agit d'une licence de lettres, d'histoire, de langue, de sociologie, de psychologie, etc. La proportion de ceux qui possèdent une licence de sciences est faible. Compte tenu du mode de sélection en vigueur dans l'enseignement secondaire français, **la quasi-totalité de ces étudiants est en échec depuis plusieurs années dans les matières scientifiques.**

Que peut signifier «*un maître polyvalent*» dans ces conditions ?

Pour la majorité des chantres de la «polyvalence», celle-ci est implicitement synonyme d'**omnicompétence** au niveau de ce qui est enseigné à l'école. Ils ne le reconnaîtront pas toujours mais tel est cependant le fond de leur pensée. Le maître devrait, à lui seul, être à même de satisfaire les multiples appétits de connaissance des enfants de sa classe. Chacun sait que l'on n'enseigne bien que ce qu'on possède parfaitement. C'est, je crois, exiger beaucoup – beaucoup trop – de ces professeurs.

Et nous n'en sommes encore qu'en 1995. Les jeunes que nous allons former seront encore en exercice **vers 2035**. Reportons-nous quarante ans en arrière (en 1955) et essayons de réaliser tout ce qui a changé depuis. Dans les sciences et les technologies certes, mais aussi – et peut-être surtout – dans la société dans son ensemble, dans les comportements et les attentes des enfants ; tentons d'apprécier la rapidité croissante des modifications ! Qu'en sera-t-il dans quarante ans ? Faut-il donc viser à former des «supermaîtres» et des «supermaîtresses» ?

Mon sentiment – mais ce n'est qu'une opinion, argumentée certes mais non irréfutablement démontrée – est que «**la polyvalence**» est **concevable au niveau d'une équipe** (fût-elle restreinte), **mais est impossible au niveau de l'individu seul**. Pic de la Mirandolle est un personnage du XVI<sup>e</sup> siècle, non de la fin du XX<sup>e</sup>. Il faut certainement ménager des transitions mais je pense que l'on doit tendre à terme vers de telles équipes et non ressasser une formule obsolète, aujourd'hui illusoire.

Le rôle et les contours de la culture scientifique, que devrait posséder tout professeur des écoles, sont transformés si l'on retient mon hypothèse de travail. Le problème n'en est pas résolu pour autant. Le fonctionnement d'une telle «*équipe pédagogique*» nécessite une compréhension réciproque et donc une part de culture commune, y compris dans le domaine scientifique. Si l'on retient en plus l'idée de «*professeurs-ressources*», susceptibles d'aider les équipes en cas de besoin, ceux-ci doivent être **entendus** des

autres, ne serait-ce que pour qu'ils sachent quand ils doivent avoir recours à eux.

## 2. QUELLE CULTURE SCIENTIFIQUE COMMUNE ?

Je ne prétends pas répondre ici à une question aussi complexe. Elle mérite une réflexion collective et probablement une recherche. Nous nous limiterons à quelques indications relatives aux objectifs auxquels cette culture doit, selon moi, répondre.

Il doit être possible de se faire une représentation correcte de ce qu'est **l'environnement matériel, culturel et social d'un citoyen français moyen en 1995**. Qu'est-ce que j'entends, dans ce cadre, par «moyen» ? Pour préciser, admettons qu'il s'agisse d'une personne qui n'a pas de raisons professionnelles de posséder des savoirs (et des savoir-faire) scientifiques et techniques supérieurs à ceux de la majorité de la population. Comment, par ailleurs, donner une première définition (qui serait à compléter) de «l'environnement» mentionné ? J'inclurais, dans cette notion, *les objets techniques* qui figurent aujourd'hui dans un grand nombre de foyers (installations électriques, télévision, platine laser, matériaux synthétiques) et/ou dans quantité d'équipements professionnels (notamment l'ordinateur), les savoirs scientifiques et techniques qui sont fréquemment évoqués par les médias. Je n'oublierais pas de relever les multiples fadaïses qui – se recommandant parfois des sciences et utilisant un vocabulaire pseudo-scientifique – sont largement diffusées dans un but mercantile : horoscopes, alchimie, parapsychologie, «médecines douces».

En m'inspirant de formules de P. Langevin (1964, texte de 1931) et de J. de Noblet (1981), **je proposerais de définir, en première approximation, la culture scientifique d'un citoyen par l'ensemble des savoirs, des savoir-faire, des comportements, des méthodes de raisonnement, qui lui suffisent pour ne pas se sentir étranger par rapport à son environnement social** (ou «aliéné», si l'on préfère, en empruntant ce concept à Marx et Hegel), pour comprendre l'essentiel des mécanismes de son fonctionnement, pour être capable de se déterminer rationnellement par rapport à tout choix qu'il aurait à effectuer sur les questions scientifiques et technologiques, etc. Ces questions ayant le plus souvent des dimensions historiques et épistémologiques, la connaissance de ces dimensions devrait faire partie de cette culture, de même d'ailleurs que leurs aspects éthiques.

J'ai tout à fait conscience à la fois de l'ambition de mon essai de définition et de son imprécision. Qu'est-ce que les termes utilisés comportent, que veut dire par exemple «*comprendre l'essentiel...*» ? Il ne faut pas confondre le niveau d'appréhension du spécialiste – pour lequel le champ

décrit est l'un des objets de son travail – et celui de l'amateur intéressé auquel on demande seulement de saisir un (bon) discours de vulgarisation à propos de ce champ et de pouvoir éventuellement le transposer aux enfants. Si je puis me permettre une analogie : personne n'attend d'un journaliste scientifique qu'il opère un rétrécissement mitral (c'est l'affaire d'un chirurgien) ; on le suppose par contre apte à expliquer à ses lecteurs ce qu'est cette affection et comment on peut y remédier. Nous serons toujours (et sans doute de plus en plus) entourés de «boîtes noires» de diverses sortes dont le fonctionnement nous restera pour partie inconnu. Encore faut-il que nous sachions que l'explication qui nous échappe existe, que nous puissions en saisir les grands traits s'ils nous sont exposés, que nous soyons capables de nous adresser à une personne susceptible de nous les présenter, que nous sachions que ces objets techniques et phénomènes complexes ne sont pas «magiques».

**Le maître est l'un des médiateurs** facilitant l'accès des élèves à l'approche de leur environnement. Cela suppose qu'il en ait lui-même une connaissance minimale et qu'il possède (individuellement et/ou avec ses collègues) la culture nécessaire. Je ne conçois pas un professeur détenant la compétence de transmettre... des savoirs et des savoir-faire qui lui seraient étrangers. On admettra que les «programmes officiels» font partie de l'environnement (réglementaire, en l'occurrence) de l'enseignant. Mon propos les concerne donc. Ils ne sont ni intangibles, ni éternels ; on peut imaginer, par exemple, que ceux de 2020 seront différents de ceux qui ont cours en 1995. Il serait souhaitable que le maître détienne la capacité de s'y adapter, comme d'aller chercher en toutes circonstances les renseignements qui lui manquent et de savoir s'adresser en cas de besoin à la personne susceptible de lui fournir une explication à son niveau.

### 3. QUELLE SCIENCE ?

Pour avancer plus avant dans ce débat, il me paraît indispensable de préciser l'esprit de ce que nous jugeons souhaitable d'enseigner.

Succinctement, je distingue deux possibilités.

**3.1.** Nous adoptons, de la science et de son enseignement, la conception «*utilitariste*» que critiquait déjà P. Langevin au début de ce siècle (Langevin, 1964, pp. 220-225, texte de 1904). La science est uniquement enseignée pour ce qu'elle permet de réaliser concrètement (notamment pour ses applications technologiques), seulement comme un «outil». Elle est totalement «instrumentalisée», pour employer une expression à la mode.

Nous adressant à de futurs travailleurs scientifiques, on adoptera une présentation axiomatique et l'on s'en tiendra là. On débutera par exemple l'étude de la lumière et des ondes électromagnétiques par l'affichage des quatre équations de Maxwell. Suivront leur application dans différents milieux, puis la présentation des appareils et des montages utilisés, en terminant par des analyses concrètes d'utilisations contemporaines de ces ondes pour les télécommunications.

La même logique conduira, pour l'enseignement de l'électricité à l'école élémentaire, à présenter une pile, un fil conducteur, une ampoule, et autres éléments de circuit. Le maître se souciera seulement d'apprendre à ses élèves à les raccorder, à observer les effets obtenus quand le courant passe... Peu importe que le professeur ne soit pas capable d'expliquer simplement le fonctionnement de la pile et le pourquoi de l'illumination de l'ampoule, qu'il ne puisse situer dans l'histoire l'apparition de l'électricité, qu'il n'évoque pas les problèmes posés par sa production, qu'il ne parle pas – même en zone rurale – des lignes à haute tension qui, entre d'énormes pylônes, sabrent les champs...

Le rôle fonctionnel de la science est ici seul à être pris en compte.

**3.2. La science est aussi, pour nous, une composante notable de la culture et de l'humanisme contemporains.** C'est également une aventure humaine. Cela conduit à reprendre et développer quelques considérations abordées rapidement à la fin du quatrième alinéa du paragraphe 2.

Je ne vois pas comment, en percevant la science de cette manière, nous pourrions faire l'économie – à quelque niveau que ce soit – de l'étude de son histoire, d'une interrogation sur ses contenus, ses applications, ses influences idéologiques, ses rapports à la société. En choisissant un exemple dans une autre discipline, certains enseignants ne se préoccupent, à propos de l'œuvre de Victor Hugo, que de l'analyse de ses textes et de la mise en évidence de leur beauté. Mais peut-on vraiment les comprendre sans les situer dans l'histoire de la littérature (et dans l'histoire tout court), sans aucune référence à ce qui s'est passé en France et dans le monde à son époque, sans évoquer la profession de son père, etc. ? Et comment saisir correctement *L'Art et la Science*, du même auteur, sans se référer au scientisme de ce temps ?

L'étage de la formation des enseignants est ici le seul qui nous préoccupe. Ce fond «historique et épistémologique», que je viens de citer, doit être commun à plusieurs catégories : généralistes et/ou semi-généralistes (et donc professeurs des écoles), scientifiques, historiens, philosophes, techniciens, économistes. Les différences apparaîtront au niveau des apports scientifiques dans chaque spécialité. Ceci étant, si l'on souhaite aborder l'histoire à l'école élémentaire à travers quelques personnes



illustres – comme l'impose l'actuel ministre – peut-on se limiter à l'imagerie d'Épinal du vieux Lavoisier<sup>2</sup>, Pasteur doit-il être réduit au vaccin contre la rage et Marie Curie à la découverte du radium<sup>3</sup>, sans même expliquer simplement ce dont il s'agit sur le plan scientifique ?

#### 4. UN FOYER D'INTERDISCIPLINARITÉ

Revenons à la «polyvalence» collective dans l'enseignement du premier degré. Le bon fonctionnement de l'équipe exige l'existence d'**un terrain de rencontre** entre les divers champs des disciplines et de leurs didactiques. Comme nous ne sommes généralement pas enclins au travail en commun, sa pratique est à instaurer pendant le temps de la formation initiale des professeurs. Sinon, cela risque fort de rester un vœu pieux.

Plusieurs choix sont certainement possibles. Vue sous l'angle de l'initiation à une culture scientifique, l'histoire des sciences possède, à cet égard, plusieurs atouts. Elle se prête, je crois, parfaitement à une étude multi (et inter) disciplinaire, à condition de choisir le thème avec soin, d'éviter les sujets trop «pointus» ou trop abstraits, de bannir les expressions formalisées à l'extrême et par trop mathématisées.

Soit, par exemple, l'histoire des débuts de l'électromagnétisme au XIX<sup>e</sup> siècle (1820-1850, environ). Passons sur ce qu'elle apporte sur le plan purement scientifique, qui peut être exposé intuitivement sans difficultés ; on peut même expérimenter, sans trop de problèmes, sur le sujet.

Les prémices en sont, par ailleurs, extrêmement riches et instructives pour bien d'autres que les scientifiques. Cette discipline débute avec l'expérience réalisée par Ørsted en 1820, qui montre que le passage d'un courant électrique dans un fil conducteur fait tourner une aiguille aimantée située à son voisinage. Ce phénomène – l'action d'un courant **électrique** sur un **aimant** – avait été pressenti par l'Américain B. Franklin au XVIII<sup>e</sup> siècle. Il avait essayé en vain de le mettre expérimentalement en évidence. Comment avait-il eu cette idée ? En lisant des récits de voyages écrits par des capitaines de navire. Ceci nous renvoie aux grandes explorations, du XV<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle, aux conditions de leurs réalisations. De quelle manière

---

2 E. Lavoisier, historien français de l'époque de la III<sup>e</sup> République. Il était l'auteur d'une série de manuels que l'on retrouvait dans presque toutes les écoles de France. Dans les classes de l'école élémentaire, chaque épisode était représenté par une illustration destinée à frapper l'imagination des enfants (et ont de fait marqué plusieurs générations) : Vercingétorix déposant ses armes aux pieds de César, un roi mérovingien allongé dans un chariot tiré par des bœufs, Saint Louis sous un chêne dans le bois de Vincennes...

3 Ce sont les deux scientifiques qui ont été retenus par l'actuel ministère pour figurer, dans les manuels d'histoire, dans la galerie des Français célèbres.

le physicien a-t-il essayé d'expérimenter ? La réponse inclut une analyse de la vogue des sciences au XVIII<sup>e</sup> siècle, qui s'est parfois accompagnée de charlatanisme, et qui fait partie intégrante des origines culturelles de la Révolution de 1789 (Darnton, 1984). Qu'est-ce que cette dernière a changé à l'institution scientifique dans son ensemble ? Pourquoi Ørsted a-t-il réussi là où Franklin avait échoué ? La réponse oblige à parler de la possibilité de produire un «*courant*», consécutive à l'invention de la pile par Volta (présentée en 1800 à Bonaparte, alors Premier Consul). La plupart des acteurs de l'essor de la nouvelle science, de 1820 à 1833-34, sont, pour plusieurs d'entre eux (Ampère, Arago, Biot...) des savants d'une génération nouvelle, différents de ceux qui exerçaient déjà avant 1789 (Laplace, par exemple). Un nouveau type d'enseignement des sciences s'instaure à cette époque, après la création de plusieurs écoles par la Convention Nationale (Polytechnique, notamment) et la réforme de l'Université par Napoléon Premier en 1808. La fonction sociale du chercheur commence à évoluer en ce début de XIX<sup>e</sup> siècle et, dans certains secteurs de la production (la chimie, la métallurgie...), les industriels font parfois appel aux savants. La contradiction que l'expérience d'Ørsted apporte au **mécanisme newtonien**, les essais de classification des sciences dus à Ampère, l'amorce de **positivisme** qui surgit au cours de cette période chez Fourier (puis, évidemment, dans les débuts de l'œuvre d'Auguste Comte), touchent à la philosophie...

Un sujet de ce type – qui n'est en rien, d'ailleurs, une exception – est donc l'occasion d'un travail interdisciplinaire très large. Les scientifiques y trouvent leur compte, de même que les historiens, les sociologues et les philosophes. Les *objets techniques*, qui découlent d'applications du flot de mémoires scientifiques parus de 1820 à 1834, vont intéresser le technicien. Plusieurs termes – *courant, tension, force électromotrice, polarisation...* – qui apparaissent à ce moment-là, concernent l'historien de la langue. Il est également possible de motiver le littéraire par des textes d'auteurs prestigieux (Balzac, Stendhal...) relatifs à des savants de cette période.

Sur un thème voisin (encore que plus restreint) – la différence entre tension et intensité – et sur l'histoire de l'évolution, une équipe de chercheurs de l'INRP – sous la direction de F. Audigier – a, il y a quelques années, mené un projet de recherche de ce type dans des classes (Audigier & Fillon, 1991). Du point de vue de la collaboration interdisciplinaire, la démonstration est parfaitement probante.

## 5. FORMER L'ESPRIT CRITIQUE

Le Conseil national des programmes français a publié, en 1992, une déclaration sur l'enseignement des sciences expérimentales à l'école, au collège et au lycée. Parmi les « *qualités particulières* » que cet enseignement doit, selon le texte, « *stimuler* » chez l'enfant et l'adolescent, figure « **le sens critique** ». Retenons la définition qui y est explicitée : *apprendre à considérer un problème en cernant les difficultés une à une, savoir essayer et vérifier, construire sa connaissance soi-même par un jeu d'essais et d'erreurs. Ne pas de contenter d'une attitude passive devant une «vérité révélée»*<sup>4</sup> (Ministère de l'Éducation nationale, 1992). Pour développer ce «sens» chez l'élève, encore faut-il qu'il existe préalablement chez l'enseignant. Cela paraît évident mais il est préférable de le rappeler.

L'esprit critique, entendu de cette manière, est partie intégrante de la démarche scientifique. Il en est même en quelque sorte l'**épine dorsale**. L'une de ses approches réside dans l'exercice d'une pratique expérimentale concrète. L'étude historique des sciences est, elle aussi, susceptible de contribuer efficacement à cet apprentissage.

Les histoires globales un peu rapides ont souvent tendance à simplifier – donc à schématiser et quelquefois à idéaliser – l'enchaînement des observations, des hypothèses, des essais expérimentaux, des constructions théoriques, qui ponctuent le scénario d'une découverte ou de la construction d'une théorie. Réduit aux seules tentatives réussies, le parcours du savant donne l'impression d'une sorte de marche triomphale. Cette imagerie d'Épinal oublie et gomme les erreurs, les hypothèses fausses, les essais négatifs, les impasses dans lesquelles le chercheur perd parfois beaucoup de temps. On ne répétera jamais trop que la meilleure manière d'en faire prendre conscience à l'étudiant en formation est de lui faire vivre une situation semblable<sup>5</sup>. Mais la connaissance de pareils épisodes chez les savants du passé – y compris les plus grands – est également très instructive.

Quelques exemples significatifs sont bien connus : « *l'erreur de Newton* » qui a retardé pendant plus de cinquante ans la réalisation d'objectifs et d'oculaires achromatiques (mais qui a incité à recourir au télescope à miroir) ; l'hypothèse inexacte de Poincaré sur l'origine des rayons cathodiques (qui eut comme conséquence la découverte de la radioactivité de l'uranium par H. Becquerel), etc. (voir Taton, 1955). Il est des péripéties – l'histoire des « *Rayons N* », par exemple – qui résument à elles seules tout ce qu'il ne faut pas faire dans le cadre d'une étude scientifique (Rosmorduc, 1972). On

---

4 Les guillemets figurent dans le texte original.

5 Il faut qu'elle soit réelle et non modélisée par des travaux pratiques (trop) bien préparés.

doit pouvoir, à la suite, compléter les digressions historiques par des faits plus proches de nous et peut-être même expérimenter là aussi.

Toutes les dimensions – ou presque – d'une formation, autant celle de l'élève que celle du professeur, sont intéressées par cet aspect de l'apprentissage de l'intelligence. L'esprit critique est nécessaire en tous lieux. Par exemple, c'est dans son renforcement qu'il faut puiser les moyens de lutter contre l'astrologie et autres escroqueries que j'ai évoquées dans le point 2. Il n'est pas efficace d'argumenter très savamment à leur propos et de rompre publiquement des lances avec leurs tenants. Démontre-t-on rationnellement l'inanité de pratiques ésotériques, inspirées par ce qu'il faut bien appeler *une foi*? Non, la seule arme possible est la formation de l'esprit critique du public visé par ces opérations.

L'histoire des sciences et des techniques anciennes et contemporaines abonde d'épisodes utilisables à cette fin. Parmi les sources fréquemment sollicitées par les auteurs ésotériques, figurent les soi-disant «*secrets perdus*» des civilisations de jadis. L'ouvrage *Le Passé recomposé* de l'archéologue et architecte J.-P. Adam les démystifie avec beaucoup d'humour (Adam, 1988). À l'inverse, Mme Régine Pernoud – par ailleurs médiéviste renommée – nous raconte qu'une religieuse mystique du XII<sup>e</sup> siècle, Hildegarde de Bingen, avait pressenti la loi de gravitation et décrit «*un univers infini, en expansion perpétuelle, proche de celui des astrophysiciens modernes...*» (Pernoud, 1994). Cinq cents ans avant Newton, huit cents ans avant Einstein, l'historienne découvre en cette dame le précurseur de Hubble ! Le maître qui connaîtra un peu l'histoire de l'astronomie et celle du principe de relativité, qui aura lu *L'Expansion de l'Univers*, remarquable petit livre de vulgarisation de l'astrophysicien Evry Schatzman (1989), ne risquera pas de se laisser séduire par les fantaisies poétiques de Mme Pernoud !

Contribution à la constitution de l'esprit critique, l'histoire des sciences participera aussi en cela à l'**apprentissage de la rationalité**, qui me paraît par ailleurs être une dimension essentielle de la formation des maîtres.

Je voudrais dire en conclusion que je ne prétends pas, dans ce «point de vue», avoir épuisé le sujet abordé. Une dimension cruciale (et même prioritaire) de la formation en sciences des professeurs d'école – l'apprentissage de leurs didactiques (voir Martinand, 1993 ; Rosmorduc, 1993) – a, elle aussi, des matériaux à puiser dans l'histoire de ces matières. C'est une autre question, même si elle n'est pas sans rapports avec les points abordés dans mon article. J'ai essentiellement essayé de suggérer une conception plus collective de la «polyvalence» des professeurs d'école. Une culture commune devenant dès lors nécessaire, notamment dans le domaine scientifique, mon objectif a été d'exposer en quoi l'histoire des sciences pouvait – selon moi – apporter des éléments, et un éclairage intéressant, à cette culture.

## BIBLIOGRAPHIE

- ADAM J.-P. (1975). *L'archéologie devant l'imposture*. Paris, Lafont.
- ADAM J.-P. (1988). *Le Passé recomposé. Chroniques d'archéologie fantasque*. Paris, Seuil.
- AGOSTINI F. (dir.) (1994). *Science en bibliothèque*. Paris, Cercle de la Librairie.
- AUDIGIER F. & FILLON P. (dir.) (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques. Une approche pluridisciplinaire*. Paris, INRP.
- BACHELARD G. (éd. 1980). *La formation de l'esprit scientifique*. 1ère éd. 1938. Paris, Vrin.
- BALIBAR F. (1994). L'histoire des sciences : une école de pensée critique. In B. Andriès et I. Beigbeder (dir.), *La culture scientifique et technique pour les professeurs des écoles*. Paris, Hachette/CNDP, pp. 37-42.
- CANGUILHEM G., LAPASSADE G., PIQUEMAL J. & ULMANN U. (1985). *Du développement à l'évolution au XIX<sup>e</sup> siècle*. 1ère éd. 1962. Paris, PUF.
- COLLINS H. & PINCH T. (1994). *Tout ce que vous devriez savoir sur la science*. Paris, Seuil.
- DARNTON R. (1984). *La fin des Lumières. Le mesmérisme et la Révolution*. Paris, Perrin.
- GIORDAN A. (dir.) (1987). *Histoire de la biologie*. Tome 1. Paris, Lavoisier.
- GIORDAN A. & DE VECCHI G. (1987). *Les origines du savoir*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- HUGO V. (éd. 1969). *L'Art et la Science*. In *Œuvres complètes*, t. XII/1. Paris, Club Français du Livre.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- LANGEVIN P. (éd. 1964). *La pensée et l'action*. Paris, Éditions Sociales.
- MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne, Peter Lang.
- MARTINAND J.-L. (1989). Didactique et histoire de la physique. In *Enseignement scientifique et histoire de la physique*. Paris, Université Paris Sud, Cité des Sciences, pp. 193-197.
- MARTINAND J.-L. (1993). Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ? *Didaskalia*, n° 2, pp. 89-99.
- MARTINAND J.-L. (1994). Les sciences à l'école primaire : questions et repères. In B. Andriès & I. Beigbeder (dir.), *La culture scientifique et technique des professeurs des écoles*. Paris, CNDP et Hachette, pp. 44-54.
- MARTINAND J.-L. (1995). Observer-Agir-Critiquer. L'enseignement des sciences expérimentales à l'école élémentaire. In *Actes des Journées Paul Langevin 94*. Brest, Université de Bretagne Occidentale, pp. 13-18.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1989). *Approche d'une histoire des sciences et des techniques à l'école élémentaire*. Rapport du groupe de recherche de la Direction des Écoles. Paris, Ministère de l'Éducation nationale.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). Déclaration du Conseil National des Programmes sur l'enseignement des sciences expérimentales. *Bulletin Officiel* du 20 février 1992, n° 8, pp. 478-493.
- NOBLET J. de (1981). *Manifeste pour le développement de la culture technique*. Paris, CRCT.
- NOËL E. (1995). Sciences, audiovisuel, multimédiation. In *Actes des Journées Paul Langevin 94*. Brest, Université de Bretagne Occidentale, pp. 105-116.
- PERNOUD R. (1980). *La femme au temps des cathédrales*. Paris, Stock.
- PERNOUD R. (1994). *Hildegarde de Bingen, conscience inspirée du XII<sup>e</sup> siècle*. Paris, Éditions du Rocher.

- PIAGET J. & GARCIA R. (1983). *Psychogénèse et histoire des sciences*. Paris, Flammarion.
- RAICHVARG D. (1987). La didactique a-t-elle raison de s'intéresser à l'histoire des sciences ? *Aster*, n° 5, pp. 3-34.
- ROSMORDUC J. (1972). Une erreur scientifique au début du siècle : les Rayons N. *Revue d'Histoire des Sciences*, t. XXV, fasc. 1, pp. 13-25.
- ROSMORDUC J. (1993). L'histoire des sciences et leurs didactiques. *Les Sciences de l'Éducation pour l'ère nouvelle*, n° 4-5, pp. 153-172.
- ROSMORDUC J. & L'ELCHAT D. (1993). *Vingt-cinq mots-clés de la culture scientifique*. Paris, Verviers, Marabout.
- SCHATZMAN E. (1989). *L'expansion de l'univers*. Paris, Hachette.
- TATON R. (1955). *Causalités et accidents de la découverte scientifique. Illustration de quelques étapes caractéristiques de l'évolution des sciences*. Paris, Masson.
- UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE (coll.) (1975). *Le retour aux sources. Pour l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique français*. Brest, Université de Bretagne Occidentale.
- UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE (coll.) (1995). *La culture scientifique des non-scientifiques. Actes des Journées Paul Langevin 94 de Brest*. Brest, Université de Bretagne Occidentale.

# Quelle formation scientifique pour l'école primaire ?

**Jean-Pierre ASTOLFI**

Département des sciences de l'éducation  
Université de Rouen  
76821 Mont-Saint-Aignan cedex, France.

Département «Didactiques des disciplines»  
Institut national de recherche pédagogique (INRP)  
29, rue d'Ulm  
75230 Paris cedex 05, France.

## **Résumé**

*La situation de l'enseignement scientifique à l'école primaire française paraît problématique. C'est le fruit d'une histoire mouvementée, avec succession d'orientations divergentes et de périodes d'attentisme démobilisatrices pour les maîtres. Pour que cet enseignement retrouve un équilibre, l'idée est qu'il faut en accepter une caractéristique majeure à ce niveau : celle d'un curriculum ouvert, d'abord orienté par le développement d'attitudes et de méthodes. Cela nécessite qu'on conçoive une formation spécifique des enseignants où la polyvalence soit conçue, non comme un moindre mal, mais comme une véritable spécialité.*

**Mots clés :** école primaire, curriculum ouvert, discipline, éveil scientifique, polyvalence.

## **Abstract**

*Scientific education in the French primary school seems to be problematic. It is the result of an eventful history with successive divergent orientations. In order that an equilibrium is established, we propose the imposition of a major characteristic at this teaching level : an open curriculum, focused at first on the development of attitudes*

*and methods. Consequently, a specific teachers' training should take into account polyvalency as a specialty on its own grounds and not consider it as a lesser evil.*

**Key words** : *primary school, open curriculum, discipline, scientific initiation, polyvalency.*

### **Resumen**

*La situación de la enseñanza científica en la escuela primaria francesa parece problemática. Es el fruto de una historia accidentada, con sucesión de orientaciones divergentes. Para que esta enseñanza reencuentre un equilibrio, la idea es que es necesario aceptar una característica superior a este nivel : la de un curriculum abierto, en principio orientado hacia el desarrollo de actitudes y métodos. Esto necesita que uno conciba una formación específica de los enseñantes donde la polivalencia sea concebida, no como un mal menor, sino como una verdadera especialidad.*

**Palabras claves** : *escuela primaria, curriculum abierto, disciplina, iniciación científica, polivalencia.*

L'enseignement des sciences à l'école primaire française paraît vivre aujourd'hui une passe délicate et c'est à l'analyse de cette situation particulière qu'est consacré le présent «point de vue», en espérant que celui-ci pourra faire résonance, par comparaison ou contraste, avec l'état de la prime éducation scientifique dans d'autres contextes. Les pratiques didactiques actuelles en France apparaissent très diverses, qualitativement comme quantitativement. Elles portent la trace de strates antérieures, étant donnés les coups d'accordéon des programmes et instructions successifs... combinés avec la lenteur des évolutions professionnelles. Ainsi, certains maîtres n'ont-ils adopté des pratiques issues de l'éveil scientifique qu'au moment de leur remplacement par un programme plus formel, au motif que ce nouvel enseignement devenait obligatoire, inscrit comme tel à l'emploi du temps, et que les seuls documents d'appui accessibles étaient ceux de la période antérieure. À côté de cela, d'autres activités plus «modernes», proches par exemple de celles des clubs scientifiques, sont mises en œuvre de façon quasi militante par une minorité d'instituteurs passionnés. Cette situation fragile semble déterminée par une conjonction d'éléments, parmi lesquels nous relèverons les suivants.

## **1. UNE HISTOIRE MOUVEMENTÉE**

La période des activités d'éveil a laissé à beaucoup le souvenir d'un grand flou dont l'institution paraît largement responsable. Ne s'est-il pas



écoulé une dizaine d'années entre l'énoncé officiel – mais non opérationnalisé – du principe du «tiers temps» pédagogique (1970), et la parution d'instructions précises pour chaque domaine, dont celui des sciences (1980) ? Entre temps, bien des maîtres sont restés désorientés, d'autant que les consignes données localement par les inspecteurs de l'enseignement primaire ont été des plus diverses. Comble de désorientation, c'est peu d'années après cette parution attendue que l'idée d'éveil fut «enterrée» pour en revenir à une définition plus académique des disciplines (1985). On comprend que, depuis, bien des enseignants restent dans l'expectative et, de ce point de vue, il faut plutôt se féliciter de la prudence qui a présidé à l'élaboration des nouveaux textes pour l'école primaire (1995).

Ajoutons à cela le poids du contexte global d'un mouvement en faveur du retour aux apprentissages de base. Les mauvais débats orchestrés autour de la prétendue baisse de niveau des élèves, la mise au premier plan de la question – souvent mal posée – de l'illettrisme, tout cela s'avère peu propice à «distraire» du temps au profit d'activités scientifiques incertaines. Au mieux, les sciences arrivent alors à se justifier quand elles apparaissent comme un moyen pour diversifier les occasions de lecture dans la classe. Et, dans une moindre mesure, celles de l'écriture et de l'activité mathématique. Quant aux objectifs spécifiques du champ et à leur valeur formative propre, on comprend qu'ils s'évanouissent aisément d'un tel paysage...

Et cela, d'autant plus facilement que la faible formation scientifique de nombreux instituteurs (et aussi de leurs inspecteurs qui y sont rarement attachés) va dans le même sens et les conduit à accompagner volontiers le mouvement. Se sentant peu à l'aise pour un tel enseignement, l'ayant mal intégré à leur formation personnelle, ils l'excluent facilement de leurs priorités, d'autant que la tâche leur paraît assez rude ailleurs, dans le contexte d'une hétérogénéité croissante des classes. Tout ceci concourt évidemment à la marginalisation des sciences à l'école primaire, même quand c'est sous la forme insidieuse d'une spécialisation de certains maîtres qui s'assurent «l'exclusivité» de leur enseignement aux différents niveaux d'une école ou, plus encore, celle du recours à des intervenants extérieurs.

## **2. UN CURRICULUM NÉCESSAIREMENT OUVERT**

Une telle évolution, chaotique, de la situation française se comprend mieux si on l'interprète comme les avatars successifs d'un débat permanent entre une conception ouverte et une conception fermée du curriculum scientifique à l'école primaire. Force est de constater que le «retour

disciplinaire» de 1985 n'a pu être tenu jusqu'au bout. C'est que l'existence des disciplines scientifiques, loin de fonctionner comme un «donné» dans lequel les élèves peuvent s'inscrire dès l'origine, est un «construit» qui ne se développe que progressivement à leurs yeux et ne s'achèvera qu'au cours de l'enseignement secondaire.

Je défendrai en effet ici l'idée que ce qui «prime» jusqu'à ce stade, ce sont des activités scientifiques qui, dans une large mesure, ont à être conduites pour elles-mêmes, pour l'intérêt qu'y portent les élèves et les progrès intellectuels qu'elles permettent. Elles ne sauraient être ramenées à de simples occasions ou moyens pour des acquisitions pré-programmées. Cette idée peut être objet de débats (elle l'a d'ailleurs été), mais il semble pourtant qu'il y ait là davantage qu'un point de vue subjectif. On peut même penser qu'il s'agit d'une caractéristique permanente de l'enseignement scientifique à l'école primaire, ce que corrobore la récente déclaration du Conseil national des programmes (CNP). Celle-ci, qui fixe de façon prospective les orientations et évolutions souhaitables, exprime les choses en termes particulièrement nets :

*«La distinction des disciplines est relativement naturelle au Lycée, [mais] elle est néfaste à l'École et dans les premières années du Collège, où scientifiques et technologues, physico-chimistes et biologistes doivent coopérer. Les contenus et démarches à chaque niveau ne peuvent pas être obtenus par simple réduction des filières universitaires. Trop souvent chaque discipline a tendance à se codifier pour délimiter son territoire, à se doter d'un langage et surtout d'un vocabulaire spécifique, qui prend une importance démesurée. Il faut au contraire, inlassablement, rechercher le terrain où l'on peut œuvrer en commun.»* (Ministère de l'Éducation nationale, 1992)

Ceci conduit le CNP à proposer quatre étapes successives pour la construction des disciplines comme telles, qu'il nomme *Découverte de la nature et de la technique* (jusqu'au cycle 2), puis *Initiation scientifique et technologique* (jusqu'en cinquième de collège), avant que ne s'autonomisent les différentes disciplines scientifiques et technologiques. Les programmes nouvellement publiés pour l'école primaire commencent d'ailleurs à intégrer cette suggestion puisque, désormais, au cycle 2 de l'école primaire, est introduit un ensemble intitulé *Découverte du monde*, qui propose une première approche globale du vivant, des phénomènes naturels et des objets techniques, de l'espace et du temps.

Une telle approche est, au fond, cohérente avec l'idée d'une transposition didactique, laquelle insiste, comme on le sait, sur la relative autonomie des disciplines scolaires par rapport à des savoirs savants qui n'en sont qu'une des références. Chevallard a parfaitement montré l'ampleur de la rupture épistémologique qui, le plus souvent, les sépare et ce, d'autant plus qu'on descend les degrés de la formation initiale. Et Chervel (1988) a

pu décrire les disciplines scolaires comme des moyens *ad hoc* pour «créer de l'enseignable», c'est-à-dire comme des occasions favorables pour «discipliner l'esprit des élèves» sur la base d'une discipline académique plus ou moins assurée selon les cas. Quelle sorte d'enseignable vise alors l'enseignement scientifique à l'école primaire ? De quelle manière cherche-t-il à discipliner l'esprit des élèves ? À ce niveau – plus encore peut-être qu'à ceux qui suivront –, conduire des observations ne peut être le simple moyen d'une introduction inductive et empirique de concepts, réaliser des expériences ne peut viser la «*monstration*», selon l'expression de Johsua. Citons encore ici les premières lignes de la déclaration du CNP :

*«L'acquisition des connaissances scientifiques est certes importante [...] mais il s'agit d'abord d'observer, d'agir, de critiquer. Indépendamment de leur contenu, les sciences expérimentales doivent stimuler des «qualités» particulières :*

- *la curiosité devant un phénomène nouveau (peut-on le comprendre ?) ou devant un problème inattendu (comment peut-on l'appréhender ?) ;*
- *l'esprit d'initiative et la ténacité : concevoir et réaliser un projet, qu'il soit «scientifique» (une expérience) ou «technologique» (conception et fabrication d'un objet) ;*
- *le sens critique : apprendre à considérer un problème en cernant les difficultés une à une, savoir essayer et vérifier, construire sa connaissance soi-même par un jeu d'essais et d'erreurs.*

*Cet aspect qualitatif est primordial à l'École et au Collège, où il s'agit de faire émerger les capacités des élèves. À cette étape, le cadre disciplinaire doit être très souple.»* (Ministère de l'Éducation nationale, 1992)

Martinand a insisté, à propos de l'initiation physique et technologique, sur le fait que les objectifs ne sont que l'un des déterminants – parmi d'autres – de ce qui est réellement enseigné. Dans une vision techniciste de l'enseignement, comme celle qui prévalait avec l'usage immodéré des taxonomies d'objectifs, «*tout devrait découler, précise-t-il, des choix de finalités : objectifs opérationnels, puis contenus et démarches, enfin moyens d'apprentissage et d'évaluation*». Or, «*une vision pluraliste, avec plusieurs entrées – et pas seulement celle des objectifs – s'avère nécessaire*» (Martinand, 1992). En réalité, contenus et démarches disposent d'une marge d'autonomie respective beaucoup plus grande que ne l'avait supposé une visée de «rationalisation de l'acte pédagogique». Les objectifs paraissent bien davantage constituer un référent pour les prises de décision du maître et la régulation de l'action, qu'un outil de programmation curriculaire *a priori*. Certes, il est possible et légitime que certaines séances découlent d'un objectif qui a préalablement été pointé, mais il est fréquent également qu'une sortie, une expérience ou une activité fabricatrice, soient organisées en premier lieu parce qu'on sait qu'elles «marchent» avec les enfants de cet

âge et qu'elles se révèlent propres à leur «*discipliner*» l'esprit, pour reprendre l'expression de Chervel.

Bien sûr, il sera toujours possible, après coup, de caractériser l'activité conduite en termes d'objectifs opérationnels mais celle-ci, pour autant, ne se limite pas au statut étriqué d'une simple «stratégie» qui découlerait d'eux. Leur «épaisseur» propre s'avère beaucoup plus grande, en raison surtout de leur caractère fonctionnel pour les enfants, ce qu'avait bien vu depuis longtemps Henriques (1976, 1989). Le recul permet aujourd'hui de mieux voir à quel point les objectifs opérationnels n'étaient que «l'envers» symétrique d'une évaluation anticipée. Or, ajoute encore avec raison Martinand :

*«La définition par l'évaluation est antagonique avec les finalités qui justifient l'introduction de ce champ disciplinaire : donner l'occasion aux élèves de «vivre» des activités investigatrices ou réalisatrices, qui introduisent aux démarches scientifiques et technologiques. Ces activités doivent rester ouvertes pour garder leur sens. Le risque d'une subversion par la seule prise en compte des compétences, d'un retournement de la matrice disciplinaire, alors même que ces activités sont peu développées à l'école, est donc majeur.»* (Martinand, 1992)

### 3. LA POLYVALENCE COMME SPÉCIALITÉ ?

Une telle conception de la formation scientifique précoce renouvelle la façon de concevoir la formation initiale des professeurs d'école en ce domaine, ce qui pourrait, à terme, modifier plus favorablement l'état des choses dans l'école. L'évidence du savoir scientifique limité des étudiants conduit facilement les formateurs à l'idée d'une nécessaire «remise à niveau», préalable à toute formation professionnelle. Un minimum de compétence académique, dans les disciplines qu'on a la charge d'enseigner, ne serait-il pas un préalable incontournable ? Quelques remarques sont ici nécessaires.

D'abord, une telle conception de la formation, focalisée sur la remise à niveau, est sans fin et consomme à coup sûr le faible temps alloué à la formation. Elle promet, de surcroît, d'être peu efficace dans la mesure où elle ne fait que reproduire un modèle d'enseignement secondaire qui, précisément, a montré ses limites (pourquoi refaire à l'identique, et en plus rapide, ce qui n'a pas «marché» ?). Elle infantilise aussi les étudiants, en les replaçant en position scolaire, au moment où il s'agit justement de les professionnaliser. D'autant qu'en toute logique, on doit réitérer la procédure pour beaucoup d'autres disciplines, mais aussi la dupliquer, dans la mesure où le problème de la maîtrise des contenus académiques se dédouble de celui d'une familiarisation avec chacune de leurs didactiques. Il n'est déjà

pas si facile d'inclure dans la formation d'un professeur du secondaire une sensibilisation aux apports de la didactique de sa discipline. Comment, *a fortiori*, procéder pour un professeur d'école, s'il doit se les approprier toutes ?

Pour éviter de telles impasses, il faut conceptualiser le métier comme celui d'un «*spécialiste de la polyvalence*», selon l'expression d'Antheaume, qui a construit, pour leur formation biologique, un modèle original qui vaut d'être évoqué (Antheaume, 1993). Loin de considérer la polyvalence comme un moindre mal, il l'envisage comme une caractéristique fondamentale du système, devant conduire à «*une autre forme de spécialisation*». Par l'analyse des séquences élaborées et conduites, il montre, très en détail, comment elles font jouer de façon convergente différents plans : celui de l'évolution personnelle des formés, celui de l'approfondissement didactique disciplinaire, celui enfin d'un professionnalisme pédagogique. À cet effet, il sélectionne plus particulièrement trois objectifs formatifs qu'il nomme : 1) l'entraînement à accepter et à gérer l'imprévu, 2) l'entraînement à se décentrer, 3) l'entraînement à se limiter. On peut être surpris d'un tel choix, tant il apparaît distant de l'idée qu'on se fait d'une formation biologique authentique, mais il force pourtant l'attention par sa manière de les décrire, à la fois, comme conformes au fonctionnement d'une pensée scientifique et comme bien adaptés à ce qui reste une caractéristique majeure de l'acte d'enseigner : mettre à distance suffisante ce qu'on a préparé *a priori*, pour être en mesure de s'adapter à ce qui survient dans la classe et de prendre des décisions (révisables) en situation (Perrenoud, 1994).

C'est d'abord le rapport au savoir des maîtres qui se trouve ainsi modifié, ceux-ci devant réaliser que la première ressource dont ils disposent, c'est eux-mêmes. Il n'est pas possible, dit Antheaume, de faire «*comme si la personne en formation pouvait ne pas être impliquée dans l'appréhension des savoirs, des savoir-faire, et plus encore, des attitudes d'enseignant*». Mais cela, il ne suffit pas de le leur dire, il est indispensable qu'ils l'éprouvent, et c'est bien ce que visent les contenus de formation qu'il propose. Il faut, par exemple, que les activités retenues permettent aux étudiants de vivre un succès (sinon ils reviendront à leurs conceptions initiales, sans évolution de leur modèle pédagogique personnel), mais aussi qu'ils se heurtent à un obstacle imprévu et qu'ils découvrent à la situation un intérêt inattendu. Il faut aussi que cela leur procure un étonnement face à des ressources personnelles et collectives qu'ils ont sous-estimées. Il faut surtout arriver à faire bouger un fort sentiment d'insécurité, face à la démarche scientifique comme pour la conduite de la classe, et – paradoxalement pour cela – briser la dépendance recherchée à l'égard de l'enseignant.

Ce n'est là qu'un exemple suggestif extrait d'une thèse récente. Mais on sent, à travers lui, combien il s'agit de développer chez les professeurs d'école – d'une manière ou d'une autre – des attitudes et des comportements qui sont aux antipodes de leurs conceptions de la science. Bien que l'orientation en soit différente, on pourrait raccorder une telle perspective avec celle de Daniel Favre (1993), qui cherche à identifier les « curseurs » distinguant ce qu'il nomme un paradigme de traitement dogmatique des informations (PTDI) d'un autre paradigme plus scientifique (PTSI). On sent ainsi ce qu'il reste à faire de chemin et de recherches pour concevoir une authentique formation scientifique des professeurs d'école, qui échappe aux pesanteurs de la secondarisation. Il y a de véritables obstacles épistémologiques, au sens précis que Bachelard donnait à ce terme, pour concevoir la polyvalence des maîtres comme une forme particulière de spécialisation professionnelle.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDRIES B. & BEIGBEDER I. (coord.) (1994). *La culture scientifique et technique pour les professeurs des écoles*. Paris, Hachette, CNDP.
- ANTHEAUME P. (1993). *Contribution à la définition des objectifs spécifiques et des activités spécifiques de formation professionnelle d'enseignants non spécialistes dans une discipline scientifique : la biologie*. Paris, Université Denis Diderot.
- CHERVEL A. (1988). L'histoire des disciplines scolaires, réflexions sur un domaine de recherche. *Histoire de l'Éducation*, n°9, pp. 59-119.
- DEVELAY M. (1992). *De l'apprentissage à l'enseignement*. Paris, ESF.
- DE VECCHI G. & GIORDAN A. (1989). *L'enseignement scientifique, comment faire pour que «ça marche» ?* Nice, Z'Éditions.
- FAVRE D. & RANCOULE Y. (1993). Peut-on décontextualiser la démarche scientifique ? *Aster*, n° 16, pp. 29-46.
- HENRIQUES A. & COLL C. (1976). Comment dialoguer avec les objets, ou l'enseignement des sciences expérimentales à l'école primaire : perspective piagétienne. *Cahiers de la Section des Sciences de l'Éducation*, n° 2. Université de Genève, FPSE.
- HENRIQUES A. (1989). Apprendre et comprendre, représentations d'enfants et enseignement pour élèves. In A. Giordan, A. Henriques & Vinh Baang (dir.), *Psychologie génétique et didactique des sciences*. Berne, Peter Lang, pp. 53-68.
- HOST V. (dir.). (1973-1980). *Activités d'éveil scientifique à l'école élémentaire* (6 volumes). Paris, INRP.
- MARTINAND J.-L. (1992). Organisation et mise en œuvre des contenus d'enseignement, esquisse problématique. In J. Colomb (éd.), *Recherches en didactique : contribution à la formation des maîtres*. Paris, INRP, pp. 135-147.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). Déclaration du Conseil National des Programmes sur l'enseignement des sciences expérimentales. *Bulletin Officiel* du 20 février 1992, n°8, pp. 478-493.
- PERRENOUD P. (1994). *Métier d'élève et sens du travail scolaire*. Paris, ESF.

# Démarches scientifiques en travaux pratiques de physique de DEUG à l'université de Cergy-Pontoise

**Alain GUILLON**

DidaScO, Université Paris 11  
Avenue Clémenceau - Bât. 336  
91405 Orsay cedex, France.

Université de Cergy-Pontoise  
Département de Physique  
49, Avenue des Génottes  
95806 Cergy-Pontoise cedex, France.

## **Résumé**

*Le cursus de travaux pratiques de physique décrit ici se caractérise par une grande cohérence sur les deux premières années d'université, l'introduction dès le début d'informations de nature épistémologique, l'apprentissage systématique d'outils nécessaires à la confrontation mesures/théorie, la mise en œuvre d'une démarche complète pour répondre à une question de physique.*

*Quatre démarches de travail du physicien sont tout d'abord dégagées. Puis, les choix didactiques sont explicités, enfin les quatre périodes du cursus sont décrites.*

**Mots clés :** *travaux pratiques, démarches du physicien, confrontation, information épistémologique, projet.*

## **Abstract**

*The curriculum of laboratory work sessions in physics presented here can be characterised by a strong coherence during the first two years of university, an introduction of epistemological information just in the beginning, a learning of basic tools necessary to the confrontation between measurements and theory, and a setting up of a complete process to answer a physicist's question.*

*Four processes in the work of physicists are identified. Then the didactic choices are done explicitly, and at last the four units of the curriculum are described.*

**Key words :** *laboratory work, physicist's processes, confrontation, epistemological information, project.*

## **Resumen**

*El currículum de trabajos prácticos de física descrito aquí se caracteriza por una gran coherencia en los dos primeros años de la universidad, la introducción desde el inicio de informaciones de naturaleza epistemológica, el aprendizaje sistemático de herramientas necesarias a la confrontación medidas/teoría y la aplicación de un procedimiento completo para responder a una pregunta de física.*

*Cuatro procedimientos en el trabajo del físico son identificados. Las alternativas didácticas son dadas explícitamente pues los cuatro períodos del currículum son descritos.*

**Palabras claves :** *trabajos prácticos, procedimientos del físico, confrontación, información epistemológica, proyecto.*

Comme le montrent plusieurs enquêtes menées ces dernières années, les travaux pratiques ne semblent pas apporter toute satisfaction, aussi bien aux étudiants qu'aux enseignants (Vallée et al., 1990 ; Trincaz & Millet, 1990 ; Bornarel, 1991). Cependant tous s'accordent à considérer les travaux pratiques comme indispensables : seuls 2,5 % des 400 physiciens ayant répondu à l'enquête de la Société Française de Physique envisagent un enseignement sans travaux pratiques (voir annexes du rapport de Jean Bornarel, *L'enseignement de la physique en premier cycle universitaire*, 1991).

Des finalités variées sont assignées aux travaux pratiques ; citons entre autres :

- constituer un référent empirique commun,
- maîtriser le matériel et les techniques de mesures,
- acquérir des méthodes d'exploitation des données,
- mettre en œuvre une démarche scientifique,



- rédiger un compte-rendu,
- s'habituer à travailler en groupe.

Dans les conclusions de son rapport, Jean Bornarel privilégie l'apprentissage de la démarche scientifique : «*Il faut que la problématique de la science expérimentale, base de la formation du physicien, soit aussi à la base de l'enseignement de la physique*» (Bornarel, 1991)

**En accord avec ces conclusions, nous avons choisi l'apprentissage des démarches scientifiques comme finalité principale des travaux pratiques de physique en DEUG (diplôme d'études universitaires générales, correspondant au premier cycle universitaire) à l'université de Cergy-Pontoise.** Comment alors introduire, de manière raisonnée et progressive, un tel apprentissage à travers les travaux pratiques ? Comment favoriser cet apprentissage ?

Notre choix a été d'élaborer *a priori* une description des démarches du physicien expérimentateur et d'en dégager des caractéristiques essentielles, pour ensuite choisir les objectifs et organiser les activités expérimentales à partir de ces caractéristiques.

Dans une première partie, nous présentons les analyses qui nous ont permis de dégager les idées directrices. Nous exposons ensuite les choix qui en ont découlé. Enfin la mise en place des séances de travaux pratiques à l'université de Cergy-Pontoise est décrite et commentée.

## 1. ANALYSES PRÉALABLES

### 1.1. Des démarches plutôt qu'une méthode expérimentale

#### *Théorie et expérience*

Quelle place l'expérience occupe-t-elle par rapport à la théorie ? Laquelle précède l'autre ?

L'histoire même récente de la physique montre que tous les cas coexistent : la théorie peut précéder l'expérience mais l'expérience peut précéder la théorie. Dans la plupart des cas, théorie et expérience progressent en parallèle avec des allers et retours nombreux ; pour Abragam, le débat sur la primauté de la théorie ou de l'expérience est un débat dépassé et «*théorie et expérience sont indissolublement liées*» (Abragam, 1986).

### Démarches et modèles

Nous avons différencié et nommé quatre types principaux de démarches du physicien (voir figure 1). Il s'agit, en quelque sorte, de prototypes de démarches en tant qu'elles sont idéales, typiques, exemplaires et de natures différentes.

Le parallélisme des démarches apparaissant dans ce schéma (réducteur comme tout schéma) ne signifie pas qu'elles sont exclusives l'une de l'autre : le physicien, au sein d'une équipe, met en œuvre successivement ou simultanément deux ou plusieurs de ces démarches.

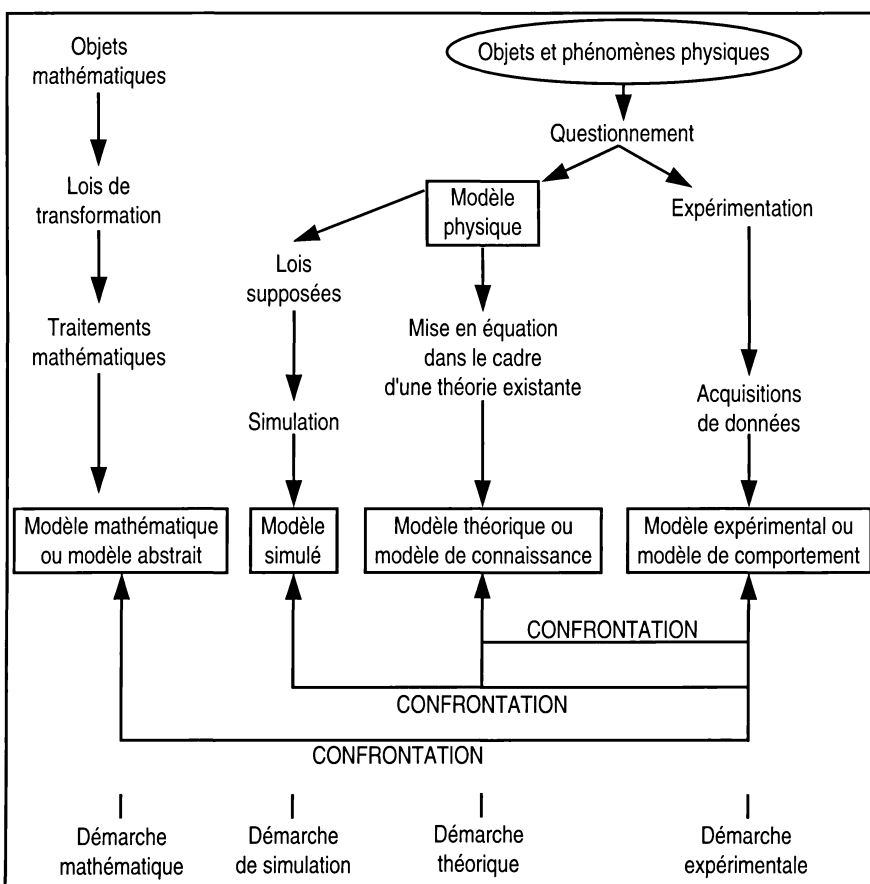


Figure 1 : Démarches du physicien

### ***Un point central : la confrontation***

Ainsi, dans son travail, le physicien articule plusieurs démarches, dont la confrontation est un passage obligé. Dans la plupart des cas il s'agit d'une confrontation avec des résultats expérimentaux, bien que des confrontations entre différents types de modèles soient aussi possibles. Il s'agit là d'une situation caractéristique des sciences expérimentales. La démarche théorique a elle-même besoin de la confrontation : sans cette confrontation avec les résultats expérimentaux, une théorie ne peut être validée (même si une seule confrontation ne suffit pas).

La confrontation n'est pas faite pour elle-même, elle correspond à une finalité plus générale issue du questionnement de départ. Nous proposons dans le tableau 1 une typologie de ces confrontations en fonction de leur finalité. Comme nous le verrons, un des outils privilégiés pour cette confrontation est l'estimation des incertitudes et leur analyse.

<ul style="list-style-type: none"><li>● Confrontation avec une valeur de référence (calculée ou tabulée)<ul style="list-style-type: none"><li>détermination d'une constante fondamentale</li><li>détermination d'une constante physique</li><li>détermination d'un paramètre d'un système</li><li>comparaison de méthodes de mesures</li></ul></li><li>● Confrontation-vérification<ul style="list-style-type: none"><li>validation d'une théorie (ou d'une partie)</li><li>validation d'un modèle</li></ul></li><li>● Confrontation modélisante<ul style="list-style-type: none"><li>choix de modèle</li><li>enrichissement de modèle</li><li>limites d'un modèle</li><li>détermination d'un paramètre d'un système</li></ul></li></ul>
--

Tableau 1 : **Typologie des confrontations**

## **1.2. Des pratiques complexes**

Une première analyse des pratiques de référence, à partir de quelques entretiens avec des chercheurs et ingénieurs physiciens, a confirmé la place centrale occupée par la confrontation. Elle joue en fait un rôle moteur en ce sens que la suite des activités est conditionnée par les résultats de cette confrontation.

### ***Boucles et va-et-vient***

La réalité du travail du physicien ne présente pas la linéarité des démarches schématisées plus haut ; il y a de nombreux retours en arrière, des va-et-vient d'une démarche à l'autre, d'une étape à l'autre au sein d'une même démarche.

*«L'expérimentation pose certains problèmes théoriques dont la solution nous ramène à l'expérimentation. Chaque étape de ce processus circulaire n'est précisément qu'une étape, qui ne prend son sens que par référence aux autres étapes.» (Bunge, 1975)*

Certains de ces retours en arrière ne sont pas dus à des problèmes d'ordre physique mais technologique. Les contraintes de la technique obligent parfois à changer de méthode de mesure, à choisir une autre grandeur caractéristique plus accessible, à reprendre l'étude théorique car tel effet que l'on pensait négligeable ne l'est pas avec le matériel utilisé...

### ***Influence du milieu de travail, de l'histoire***

De nos jours un chercheur ou un ingénieur-développeur fait en général partie d'une équipe. Les discussions au sein de l'équipe, les échanges avec d'autres équipes, les informations recueillies dans les revues ou les congrès peuvent influencer directement la progression de la démarche suivie, notamment dans la phase de mise au point du protocole expérimental, mais aussi lors de l'exploitation des mesures. Plusieurs démarches peuvent être menées en parallèle à l'intérieur d'une même équipe et les interactions sont alors très fortes. Par ailleurs l'histoire du sujet ainsi que l'histoire de l'équipe ont leur importance.

Un chercheur ou un ingénieur-développeur est donc soumis à un ensemble complexe d'influences extérieures que l'épistémologie sociale a bien mis en évidence (Latour & Woolgar, 1988...).

### ***Rôle des ordinateurs***

Depuis dix ans les micro-ordinateurs se sont considérablement développés et ont investi tous les domaines, en recherche fondamentale comme en recherche-développement. Si l'ordinateur est largement utilisé pour le traitement des données comme pour leur acquisition directe, voire également pour le pilotage d'expérience, l'aspect que nous retiendrons ici est son utilisation pour la confrontation. L'ordinateur pouvant prendre en charge les calculs numériques et les représentations graphiques, la confrontation entre résultats théoriques ou simulés et résultats expérimentaux peut s'effectuer directement sur l'écran de l'ordinateur (voir, dans les revues spécialisées, la multiplication des copies d'écran montrant dans un

même système d'axes les points expérimentaux et la courbe calculée). En particulier, l'ordinateur peut résoudre numériquement des équations différentielles sans solutions analytiques et donner une représentation graphique de la solution ; la confrontation des résultats expérimentaux peut ainsi se faire avec des modèles d'une grande complexité.

### ***Phases absentes des travaux pratiques «classiques»***

Les travaux pratiques (TP) «classiques» visent certains objectifs bien repérés tels que : se servir d'un appareil, estimer l'incertitude sur le résultat, réaliser un montage électrique, tracer un graphe...

Cependant la comparaison entre activités menées en TP et pratiques de référence fait ressortir l'absence de certaines phases des démarches du physicien dans les travaux pratiques. Par nature ceux-ci ne peuvent atteindre certains objectifs liés aux démarches du physicien. Ainsi la phase de questionnement n'existe pas en général dans les TP «classiques» ; la question est d'emblée proposée à l'étudiant. De même, sauf exception, l'étudiant n'a pas de recherche documentaire et bibliographique à effectuer tant en ce qui concerne la théorie que l'expérience : tous ces éléments sont fournis dans le texte du polycopié de TP.

L'étudiant n'a pas non plus à mettre au point le protocole d'expérience ni le protocole d'exploitation des mesures : il suffit de suivre les indications du polycopié. Parfois même le montage des appareils est déjà fait, il n'y a plus qu'à mettre en marche et à effectuer les mesures. Pourtant cette phase d'élaboration du protocole d'expérience peut être riche d'interactions avec la théorie.

Enfin une phase toujours absente (mais qui à elle seule serait sujet d'apprentissage) est la communication orale de la recherche ou du projet et de ses résultats.

## **2. CHOIX DIDACTIQUES**

### **2.1. Choix liés aux démarches**

Notre finalité principale étant l'apprentissage des démarches scientifiques, les analyses précédentes font ressortir plusieurs points essentiels précisant cette finalité.

***La confrontation est une phase centrale et incontournable de toute démarche scientifique.*** Elle présente des facettes variées et met en œuvre des outils et des méthodologies spécifiques que les étudiants

doivent s'approprier. Sans cet apprentissage les arguments utilisés lors de la confrontation restent limités et vagues.

Nous avons donc choisi la confrontation comme fil conducteur de l'ensemble du cursus et placé l'apprentissage des outils de base de cette confrontation en première année.

Ainsi, au début de chaque séance de TP, une question est posée qui conduira à une confrontation et donnera un sens aux activités proposées.

En ce qui concerne les outils nous insistons particulièrement sur les traitements des incertitudes (voir tableau 2 une liste non exhaustive d'outils utilisés pour les confrontations)

<ul style="list-style-type: none"><li>● Traitement des incertitudes statistique différentiel</li><li>● Écart quadratique entre points calculés et points expérimentaux et sa minimisation</li><li>● Outils numériques dérivation / intégration résolution d'équations différentielles filtrage</li><li>● Acquisition automatique de mesures échantillonnage capteur et chaîne de mesurage</li></ul>
---

Tableau 2 : **Outils associés aux confrontations**

***La démarche scientifique n'est pas unique.*** Il nous semble important que les étudiants connaissent diverses démarches et le vocabulaire associé, notamment pour les divers modèles utilisés. En nous appuyant sur le schéma de la figure 1, nous avons choisi de présenter quelques démarches scientifiques au tout début du cursus comme une introduction à la période des apprentissages de base. En effet, une étude de cas menée (préalablement à l'innovation présentée ici) sur des étudiants en stage de fin de DEUG, nous a conduit à penser qu'une connaissance du cadre général du travail du physicien, et une réflexion sur les modèles et leurs rôles dans les démarches, devraient aider l'étudiant à mieux percevoir les articulations entre les étapes des démarches scientifiques et lui permettre de mieux organiser et orienter son action pendant les TP.

***Pendant cette introduction ne suffit pas à une appropriation durable pour la mise en œuvre des démarches scientifiques.*** À la fois parce que ce type de présentation, même appuyée sur des exemples vécus par les étudiants (voir 3. Mise en œuvre), demeure assez formel, et aussi

parce que certaines phases des démarches scientifiques sont absentes des TP (comme signalé plus haut). C'est pourquoi faire réaliser à l'étudiant une démarche complète à travers la réalisation d'un projet nous paraît indispensable.

La phase d'élaboration du protocole expérimental et la phase de choix du mode d'exploitation des mesures semblent en effet particulièrement propices à une appropriation des articulations entre les diverses étapes des démarches scientifiques. Nous avons choisi de placer ces projets en fin de cursus pour permettre à l'étudiant de réinvestir ses acquis et pour constituer une conclusion du cursus.

### ***Ordinateurs***

Afin de rapprocher les activités proposées aux étudiants des pratiques du physicien ou de l'ingénieur-développeur, nous avons choisi d'utiliser l'ordinateur aussi bien pour la confrontation que pour l'acquisition et le traitement des données. Un certain nombre des outils associés à la confrontation présentés plus haut sont d'ailleurs directement tributaires de l'utilisation de l'ordinateur.

## **2.2. Autres choix**

Affirmer qu'il y a apprentissage au cours des TP implique que cet apprentissage suive une progression. L'ordre choisi pour les TP n'est pas indifférent et tous les étudiants doivent suivre la même progression : nos travaux pratiques ne sont donc pas «tournants».

D'autre part l'apprentissage se déroule pendant la séance de TP elle-même. Nous avons choisi de respecter ce temps et donc de renoncer au photocopié global rassemblant l'ensemble des TP. Un fascicule est remis au début de chaque TP. L'étudiant découvrant le TP en cours de séance, les présentations théoriques doivent être limitées au minimum : ainsi les thèmes traités doivent s'appuyer sur les connaissances antérieures des étudiants ou suivre la progression du cours et des TD correspondants. Dans le même souci de cohérence dans le temps, le compte-rendu doit être remis en fin de séance.

### 3. CURSUS DE TRAVAUX PRATIQUES MIS EN PLACE À CERGY

Le cursus suit le découpage des semestres d'enseignement des deux premières années et est organisé comme l'indique le tableau 3.

Première année		
Période 1	3 TP de 4h30	Cadre général des démarches du physicien Vocabulaire
Période 2	7 TP de 4h30	Apprentissage de base (incertitudes : traitement statistique et différentiel – confrontation – appareils et chaîne de mesurage)
Deuxième année		
Période 3	9 TP de 4h15	Réinvestissement et prolongements
Période 4	2TP de 4h + projet soit 2 h + 6 x 4 h = 26 h	Mise en œuvre par l'étudiant d'une démarche scientifique complète

Tableau 3 : Les quatre périodes du cursus

L'importance de l'enseignement de TP a été volontairement marquée en augmentant son poids dans l'évaluation : ainsi, en filière MP (Maths-Physique), la note de TP représente 25 % de la note globale de physique pour chacune des périodes 2, 3 et 4, et donc aussi pour l'ensemble du DEUG.

D'autre part, pour faciliter la mise en place de ce cursus, un fascicule-enseignant accompagne chaque séance : il précise les principaux objectifs et les intentions didactiques, donne des informations supplémentaires, propose des indications de correction et un barème pour aider à l'harmonisation des notations.

#### 3.1. Première période

La présentation du cadre général des démarches se fait seulement à la fin du deuxième TP, après que les étudiants, guidés par le fascicule de TP, aient mis en œuvre deux démarches différentes.

Dans la première séance, les étudiants sont amenés à construire un modèle expérimental décrivant le comportement au cours du temps de l'abscisse et de l'ordonnée d'une balle de golf en mouvement de chute



parabolique ; ils doivent ensuite rechercher une interprétation théorique pour arriver à une confrontation entre modèles théorique et expérimental.

Dans la deuxième séance, l'étude théorique est d'emblée proposée, elle guide ensuite l'expérience et une confrontation entre résultats expérimentaux et théoriques est de nouveau effectuée. À l'issue de cette deuxième séance, une heure est réservée pour mener avec les étudiants une réflexion sur les démarches pratiquées dans les deux TP. Cette réflexion est amorcée par un questionnement des étudiants ; un texte plus général est ensuite analysé par les étudiants pour introduire le vocabulaire et présenter sous forme de tableaux les différentes étapes des démarches et leurs articulations. Enfin d'autres questions sont posées et des compléments apportés. La problématique du travail du physicien étant explicitée, les étapes du cursus de TP sont précisées aux étudiants. Le troisième TP permet de réinvestir vocabulaire et démarches.

### 3.2. Deuxième période

Nous proposons ici un apprentissage de base concernant la confrontation : incertitudes, écart quadratique, acquisition de mesures avec ordinateur...

La confrontation théorie/expérience faisant appel aux incertitudes de mesures et à l'écart entre modèles théorique et expérimental, nous avons choisi d'introduire tout de suite le traitement des incertitudes. Nous avons pour cette partie utilisé les analyses du groupe d'Orsay et adapté leur proposition de TP (voir Séré et al., 1993). Une différence notable avec les présentations habituelles est que nous abordons le traitement statistique avant le traitement différentiel classique. L'ordinateur est ici utilisé à deux fins différentes : dans un premier temps il sert, à partir de simulations proposées aux étudiants, à introduire les notions d'écart-type et d'intervalle de confiance ; dans un deuxième temps il permet de traiter l'ensemble des mesures des binômes d'un TP ainsi que l'ensemble des mesures des groupes de TP.

Étant donné l'importance du traitement des incertitudes pour la confrontation, des exercices complémentaires sont proposés à la fin des TP n° 1 et 3, et un contrôle de 30 minutes comprenant deux exercices est intégré au partiel de physique.

La confrontation modèle théorique – résultats expérimentaux est d'abord faite visuellement sur l'écran de l'ordinateur. Nous introduisons ensuite l'écart quadratique comme critère quantitatif et la méthode séquentielle pour l'ajustement des paramètres d'un modèle. Cette méthode est utilisée pour un modèle non linéaire par rapport aux paramètres (là où la méthode des moindres carrés n'est plus applicable).

Sujet	Démarche scientifique	Outils méthodologiques	Matériel
1. Pendule simple	Détermination d'un paramètre d'un système : étude expérimentale. Modèle à un paramètre Confrontation de plusieurs séries de mesures	Traitement statistique d'une série de N mesures	Calculatrice graphique ordinateur
2. Pendule simple et pendule pesant	Confrontation de résultat à une valeur de référence Établissement d'un modèle expérimental	Réinvestissement Propagation des erreurs : traitement statistique	Calculatrice graphique ordinateur
3. Mesure de résistances électriques	Étude théorique préalable Confrontation entre plusieurs méthodes de mesure Erreur systématique due au protocole de mesure	Cas d'une mesure unique : traitement différentiel des incertitudes et de la propagation des erreurs	Multimètre
4. Charge d'un condensateur à l'aide d'une source de tension constante	Confrontation modèle théorique – résultats de mesure Modèle non linéaire	Critère quadratique Méthode séquentielle d'ajustement Acquisition automatique de mesures	Interface et ordinateur
5. Filtre RC	Confrontation modèle théorique – résultats de mesure Filtrage Réinvestissement	Échantillonnage des acquisitions de mesures Rapport signal-bruit Réinvestissement	Interface et ordinateur
6. Mesure de température	Chaîne capteur-conditionneur-interface-ordinateur Confrontation entre indications de mesure	Paramètres d'un capteur Réinvestissement	Capteur interface ordinateur
7. Bobine d'induction	Confrontation modèles théoriques successifs - résultats de mesure	Réinvestissement	Oscilloscope

Tableau 4 : Les progressions en période 2

Le problème du bruit et de son traitement est une autre manière d'aborder l'intervention de l'aléatoire dans les mesures.

L'acquisition de mesures avec l'ordinateur est introduite progressivement : elle répond au souci d'une transposition des pratiques du chercheur et de l'ingénieur. La familiarisation avec les appareils va de pair avec l'apprentissage des outils méthodologiques.

De nombreux réinvestissements ont été ménagés ; le vocabulaire introduit en première période est largement utilisé dans le texte même des TP, afin de favoriser les apprentissages. La confrontation théorie/expérience est sans arrêt sollicitée et doit être argumentée en s'appuyant notamment sur un traitement des incertitudes. Le fil conducteur de la confrontation est ainsi constamment explicite.

Le tableau 4 résume les apprentissages menés en parallèle.

### **3.3. Troisième période**

Pour faciliter le réinvestissement des notions vues en première année, un aide-mémoire rassemblant une présentation générale et les principales méthodes vues en deuxième période est fourni aux étudiants.

Contrairement aux périodes précédentes, les TP sont ici moins directifs : nous voulons à la fois favoriser l'autonomie de l'étudiant face à une étude faisant intervenir l'expérience et étudier la manière dont l'étudiant va réutiliser les connaissances acquises. Dans certains TP, les étudiants doivent élaborer une partie du protocole expérimental ou/et décider de l'exploitation des mesures ou/et faire des prévisions en s'appuyant sur la théorie.

L'accent est mis sur l'apprentissage de la rédaction du compte-rendu : plan, articulation étude théorique - protocole opératoire et traitement des mesures, confrontation argumentée s'appuyant sur une analyse des incertitudes. Ce sont ces aspects qui sont valorisés dans la notation.

### **3.4. Quatrième période**

L'un des deux TP propose une démarche de simulation sur l'exemple du mouvement brownien : c'est l'occasion de revenir sur le schéma de présentation générale des démarches scientifiques. Mais la particularité essentielle de cette période est le projet qui occupe la grande majorité du temps.

Après la distribution d'un plan de travail, une question de physique est posée à chaque binôme sur un thème choisi préalablement. Pour répondre à cette question, les étudiants doivent élaborer un protocole opératoire et le mode d'exploitation des mesures : une phase de recherche documentaire et bibliographique ainsi qu'une étude théorique sont nécessaires.

Une attention particulière est apportée aux questions proposées aux étudiants. La solution doit en effet à la fois ne pas être connue et apparaître accessible à l'étudiant qui doit l'atteindre dans le temps imparti. Comme nous l'avons souligné précédemment, la question n'a pas d'histoire ni de contexte pour l'étudiant ; il y a donc lieu de créer une situation, de mettre en scène le travail qui va être demandé, ce qui peut apparaître tout à fait artificiel à l'étudiant et ne pas faciliter l'intériorisation du but poursuivi. Par ailleurs, si les questions posées au départ sont trop précises, on court-circuite une part importante de l'analyse. Il y a donc un compromis à trouver.

À la deuxième séance, chaque binôme remet un premier rapport contenant étude théorique et protocole et expose devant les autres étudiants le protocole retenu en l'argumentant. Cette séance d'exposés est présentée aux étudiants comme une transposition de la «réunion de labo». Les étudiants spectateurs sont invités à demander des éclaircissements au binôme exposant, l'enseignant posant aussi des questions. C'est l'occasion d'améliorer les protocoles, d'éviter des dérives trop importantes, de lever des blocages. Cette séance est aussi une initiation à l'exposé oral.

En fonction des critiques formulées, une nouvelle version du protocole est demandée. Puis les étudiants mettent en place l'expérience, exploitent leurs résultats. La dernière séance est consacrée à la présentation orale des travaux. Chaque binôme remet aussi un rapport écrit.

## CONCLUSION

Le nouveau cursus présenté ici a été introduit en 1992/1993 pour la première année et en 1993/1994 pour la deuxième année. Cette mise en place a donné lieu à des observations ; différents types de données ont été recueillies à deux moments du cursus :

- à la fin du premier semestre après introduction du cadre général des démarches,
- au moment des projets en fin de cursus.

L'ensemble de ces observations, bien qu'ayant suggéré des modifications de détail, a indiqué une bonne faisabilité du cursus.

Les analyses ultérieures tenteront de répondre aux questions suivantes :

– comment les étudiants utilisent-ils les informations d'ordre épistémologique introduites en première partie ?

– comment les étudiants conduisent-ils leur action pendant les projets ?  
Quelles sont leurs difficultés ?

– comment les étudiants utilisent-ils les outils de base introduits en deuxième période ?

– comment les étudiants perçoivent-ils leur propre démarche pendant les projets ?

Dans ce but, des questionnaires, les premières versions des projets, les rapports de projet, des enregistrements vidéo sont en cours d'analyse.

## Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement Marie-Geneviève Séré et Roger Journeaux pour leur participation à des discussions constructives et pour leurs relectures critiques.

## BIBLIOGRAPHIE

- ABRAGAM A. (1986). Théorie ou expérience : un débat archaïque. In J. Hamburger, *La philosophie des sciences aujourd'hui*. Paris, Gauthier-Villars, pp. 21-37.
- BORNAREL J. (1991). *L'enseignement de la physique en premier cycle universitaire*. Rapport à la demande de la Société Française de Physique. Paris, SFP.
- BUNGE M. (1975). *Philosophie de la physique*. Paris, Seuil.
- LATOUR B. & WOOLGAR S. (1988). *La vie de laboratoire*. Paris, La Découverte.
- SÉRÉ M.-G., LARCHER C. & JOURNEAUX R. (1993). Learning statistical analysis of measurement errors (first year of university). *International Journal of Science Education*, vol. 15, n°4, pp. 427-438.
- TRINCAZ J. & MILLET J. (1990). Adaptation des étudiants de l'année de DEUG A, leurs méthodes de travail et leurs projets professionnels. Annexe du rapport de J. Bornarel, *L'enseignement de la physique en premier cycle universitaire*. Paris, SFP.
- VALLÉE, RANSON & BRAULT (1990). Enquête auprès des étudiants de l'année de DEUG A, licence et maîtrise de physique d'Orléans. Annexe du rapport de J. Bornarel, *L'enseignement de la physique en premier cycle universitaire*. Paris, SFP.

# Situations-problèmes et modélisation ; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique

**Guy ROBARDET**

Laboratoire Interdisciplinaire  
de Didactique des Sciences Expérimentales  
Université Joseph Fourier  
BP 53 X  
38041 Grenoble, France.

## **Résumé**

*Nous présentons ici une expérience d'enseignement de mécanique au lycée. Avec la mise en œuvre de ce travail, notre principal objectif fut de nous attaquer à la conception d'impetus. Dans cette séquence nous avons proposé à la classe d'élaborer un modèle newtonien. Cette construction a été réalisée de manière progressive en emboîtant successivement des modèles dont le champ expérimental est de plus en plus étendu.*

**Mots clés :** *conception, mécanique, modèle, modélisation, situation-problème.*

## **Abstract**

*We present an experiment about teaching mechanics in Senior High School, in which our main goal was to attack impetus misconceptions. In this teaching experiment we have suggested to the students to elaborate a newtonian model. This construction has been done progressively using successive models, each having a wider experimental field, each model encasing the previous one.*

**Key words :** *misconception, mechanics, model, modelisation, problem situation.*

## **Resumen**

*Presentamos aquí una experiencia de enseñanza de mecánica en el liceo. Con la realización de este trabajo, nuestro principal objetivo fue de atacar la concepción de ímpetus. En esta secuencia proponemos a la clase de elaborar un modelo newtoniano. Esta construcción fue realizada de manera progresiva ajustando sucesivamente los modelos donde el campo experimental es cada vez más amplio.*

**Palabras claves :** *concepción, mecánica, modelo, modelización, situación-problema.*

## **1. PROBLÉMATIQUE**

Si les résultats actuellement disponibles dans le domaine de la recherche en psychologie et en didactique nous apportent des informations précieuses sur le fonctionnement cognitif de l'enfant ou de l'adolescent lorsqu'il est confronté à l'acquisition d'un savoir scientifique, plus rares sont les travaux concernant les situations d'enseignement proprement dites. Nous présentons ici une séquence d'enseignement de la mécanique au lycée. En élaborant cette séquence, notre principal objectif fut de nous attaquer à la conception d'ímpetus qui a été minutieusement étudiée et décrite, notamment en France par Laurence Viennot et Édith Saltiel, aux États-Unis par Michael McCloskey (1983), Ibrahim Abou Halloun et David Hestenes (1983). Ces travaux, et bien d'autres encore, ont montré que ces conceptions et les modes de raisonnement qui leur sont bien souvent associés constituent, vis-à-vis de la construction des connaissances de mécanique, une source importante de difficultés en raison de leur forte résistance à l'enseignement traditionnel (Viennot, 1979 ; Saltiel, 1986).

La conception d'ímpetus modélise des raisonnements naïfs qui, en mécanique, reposent sur l'idée erronée d'une séparation absolue des concepts de mouvement et de repos et d'un principe faisant de la «force» la cause du mouvement. De plus, selon ces raisonnements, la «force» constituerait un capital interne à l'objet en mouvement qui lui aurait été communiqué lors du lancement et qui s'épuiserait ensuite progressivement. Voici par exemple comment un étudiant cité par McCloskey explique le mouvement d'un boulet de canon tiré verticalement : «*À mesure que le boulet s'élève, la force engendrée par le canon s'épuise et la gravité prend de l'importance : alors le boulet ralentit. À l'altitude maximale la force du canon et la gravité sont sensiblement égales ; c'est le point de renversement où la force du canon devient inférieure à la gravité, laquelle devient alors la force prédominante.*» (McCloskey, 1983)

Nous avons fait du dépassement de ces obstacles notre objectif prioritaire ; ainsi notre problématique fut la suivante. **Compte tenu de la présence fortement répandue de la conception d'impetus chez les élèves qui entrent au lycée, et sachant la très grande résistance de cette conception, comment agir sur elle ? Comment obtenir des élèves le changement conceptuel attendu, c'est-à-dire l'abandon du mode de raisonnement erroné au profit du modèle scientifique ?** De notre point de vue, la réponse à cette question, si tant est qu'il y en ait une, supposait la prise en compte de deux hypothèses didactiques.

1. La transformation attendue se produira d'autant mieux que nous aurons privilégié une entrée par la dynamique (la mécanique des mouvements) sur une entrée, plus traditionnelle, par la statique (la mécanique du repos). En effet, une entrée par la statique favorise à l'évidence la conception de sens commun puisque cette entrée consiste à établir que **si un corps est au repos, alors la somme des forces qui lui sont appliquées est toujours nulle**. Il y a donc un risque important que cette règle soit traduite par les élèves sous la forme erronée suivante : **si la somme des forces est nulle alors le corps est au repos**.

2. Le changement conceptuel attendu aura d'autant plus de chances de se produire que l'enseignement sera organisé suivant une méthode de résolution de problèmes, conformément à une démarche constructiviste d'apprentissage.

## 2. DÉROULEMENT DE LA SÉQUENCE

Cet enseignement de mécanique a débuté par une étude préliminaire, avec les élèves, du concept de masse (masse inerte). À cet effet, nous nous sommes appuyés sur l'observation de situations de collisions entre des wagonnets identiques ou différents. Une réflexion sur l'attraction terrestre a permis de différencier la masse  $M$  (grandeur qui mesure l'inertie d'un corps) et la force d'attraction universelle  $F^1$  (poids) qu'un astre – Terre, Lune, Soleil – exerce sur ce corps. Après ce travail, les élèves semblaient prêts à aborder la première partie de notre séquence. Ceux-ci ayant été répartis en petits groupes, nous leur avons soumis la situation suivante sous forme d'une proposition d'expérience (non réalisée).

**SITUATION-PROBLÈME N°1 : On abandonne simultanément une boule de pétanque et une balle de tennis depuis le sommet d'un mur d'environ 5 m de hauteur. Laquelle arrivera la première au sol ? Où se trouvera la seconde à l'instant où la première touchera le sol ?**

1 La notation vectorielle n'a volontairement été introduite, pour  $F$  et  $V$ , que lorsqu'elle est devenue nécessaire (à la fin de la situation-problème n°2).



Nous avons construit cet énoncé dans l'intention de mettre les conceptions des élèves à l'épreuve des faits. En les faisant anticiper sur le résultat d'une expérience à réaliser, nous nous attendons *a priori* à ce que les élèves prévoient que l'objet le plus lourd arrivera nettement en premier. Les données numériques (les masses et la hauteur de chute) sont fournies afin de permettre à ceux qui le souhaitent de s'engager dans une procédure de calcul.

Que s'est-il passé en classe ?

Nous avons demandé, dans un premier temps, une recherche et des réponses individuelles par écrit. Nous avons pu constater que les élèves s'investissaient pratiquement tous dans la recherche d'un pronostic. Une grande majorité d'élèves prévoit que la boule (800 g) arrivera bien avant la balle (60 g). Mais tous ne sont pas d'accord sur la distance qui doit les séparer à l'arrivée. Des discussions en petits groupes les conduisent à comparer et à expliciter leurs points de vue. Une discussion en grand groupe révèle qu'il n'y a pas d'accord sur la distance qui sépare les deux objets à l'arrivée de la boule. Ce sont les élèves qui proposent alors de réaliser l'expérience. Ils préconisent eux-mêmes l'utilisation d'une prise de vue vidéo afin de garder en mémoire le résultat pour départager les points de vue. L'enseignant leur suggère de faire des propositions précises de protocole expérimental. Où faire l'expérience ? Comment opérer ? Comment enregistrer ? Comment obtenir un document sur lequel il sera possible d'effectuer des mesures de distance ? Après cette réflexion, l'expérience est alors mise en œuvre par les élèves dans la cour. Ils constatent très vite que les deux boules arrivent ensemble au sol, ce qui ne manque pas de les surprendre. Le recours à la bande vidéo confirme ce résultat. Il montre, de plus, que les deux objets tombent en restant ensemble et que leur vitesse augmente tout au long de la chute.

C'est à ce moment là que, devant la nécessité d'étudier quantitativement le problème, nous introduisons le concept de vitesse. C'est intentionnellement, et afin que les concepts de cinématique prennent leur sens au cours de la résolution du problème, que nous n'avons pas fait d'enseignement préalable de cinématique.

On propose alors aux élèves de construire un modèle qui permette non seulement de rendre compte de ces résultats, mais encore d'effectuer des calculs prévisionnels de la vitesse en fonction de la durée de la chute (la notion de modèle a déjà été rencontrée en chimie et en électricité). Le débat avec le classe est long et difficile. Quels paramètres, quelles variables faut-il prendre en compte ? Après débat, sont retenus les paramètres  $F$  et  $M$  et les variables vitesse  $V$  et temps  $t$ . Les élèves proposent finalement plusieurs relations arithmétiques liant  $F$ ,  $M$ ,  $V$  et  $t$  :

$$\begin{array}{ccccc}
 V+t=F \cdot M & V+t=F+M & V/t=F \cdot M & V/t=F \cdot M & V \cdot t=F \cdot M \\
 V \cdot F/M=t & F \cdot t=M \cdot V & F \cdot t=M/V & F \cdot V=M \cdot t & V \cdot F \cdot M=t
 \end{array}$$

Il s'agit alors de choisir entre ces différentes propositions. Résumant les résultats expérimentaux, l'enseignant demande aux groupes d'élèves d'éliminer les propositions visiblement non conformes. Deux propositions sont acceptables :  $F \cdot V = M \cdot t$  et  $F \cdot t = M \cdot V$ . Elles sont gardées à titre d'hypothèses. Il convient donc de les confronter aux résultats expérimentaux c'est-à-dire aux mesures effectuées sur l'enregistrement vidéo. Les élèves apprennent ainsi à mesurer des vitesses sur les enregistrements vidéo à partir du repérage des positions obtenues par arrêt sur image. Ils mesurent différentes valeurs de  $V$  à différents moments.

$F$  et  $M$  étant déduits de la pesée des objets, ils constatent que la relation  $M \cdot V = F \cdot t$  semble convenir tandis que l'autre hypothèse doit être abandonnée. L'enseignant propose alors aux groupes de vérifier la validité de la relation précédente sur d'autres enregistrements de chute libre. Les élèves constatent que  $M \cdot V = F \cdot t$  ne convient pas dans tous les cas. Faut-il donc abandonner ? Comment se fait-il que cette relation ait marché lors de la première chute étudiée ? À ce stade du débat, c'est l'enseignant qui doit apporter la réponse, les élèves s'avérant incapables de la trouver. Finalement, il propose (et les élèves acceptent) de relier deux états quelconques 1 et 2 du système par la relation :  $M \cdot V_1 + F \cdot t_{12} = M \cdot V_2$  qui semble bien vérifiée sur tous les enregistrements réalisés. L'enseignant institue alors le modèle de la chute libre sous la forme suivante :

## MODÈLE DE LA CHUTE LIBRE

### Champ expérimental de référence :

Objets abandonnés à l'action de la pesanteur sans vitesse initiale (effet de l'air négligé)

### Notions de base :

masse  $M$  en kilogramme : grandeur qui mesure l'inertie  
 vitesse  $V$  en mètre par seconde  
 temps  $t$  en seconde  
 force d'attraction terrestre : le poids  $F$  en newton

### Relation :

mouvement de chute libre :  $M \cdot V_1 + F \cdot t_{12} = M \cdot V_2$   
 (1 et 2 représentant deux états du système)

Après avoir élaboré avec les élèves ce modèle de la chute libre, on propose alors à la classe une deuxième situation-problème. L'intention est ici de modifier ce modèle de façon à élargir son champ expérimental de référence.

**SITUATION-PROBLÈME N° 2 : On lance une balle verticalement vers le haut. Quelle(s) action(s) s'exerce(nt) sur la balle durant la montée ? Si tu envisages que plusieurs actions s'exercent simultanément, quelle est, selon toi, la plus forte ? Agit-elle tout le temps ? Reste-t-elle constante ?**

Tous les élèves pensent qu'une «poussée» dirigée vers le haut et qui diminue au cours de la montée agit sur la balle. La plupart y ajoutent l'action de la Terre, constante et dirigée vers le bas. La première sera représentée par une force  $F'$  et la seconde par  $F$ . Sans chercher à dissuader les élèves de recourir à la «force de lancement  $F'$ », l'enseignant leur demande alors de transformer la relation valable pour la chute libre en une nouvelle relation arithmétique rendant compte de la montée. Plusieurs hypothèses sont alors rapidement formulées :

$$M \cdot V_1 - (F + F') \cdot t_{12} = M \cdot V_2$$

$$M \cdot V_1 - (F - F') \cdot t_{12} = M \cdot V_2$$

$$M \cdot V_1 - (F' - F) \cdot t_{12} = M \cdot V_2$$

Le débat et les vérifications expérimentales conduisent les élèves à retenir le résultat suivant :  $M \cdot V_1 - F \cdot t_{12} = M \cdot V_2$ . Mais retenir cette relation revient à admettre que la «force de poussée»  $F'$  est inopérante. Les élèves semblent très déstabilisés par l'obligation qui leur est faite, par l'expérience, d'abandonner la force  $F'$ . C'est ce moment que choisit l'enseignant pour proposer une représentation de l'«élan» en introduisant la notion de **quantité de mouvement**  $p = M \cdot V$ . La relation précédente s'écrit alors :

$$p_1 - \bar{F} \cdot t_{12} = p_2$$

Les travaux suivants font appel à la même démarche ; ils conduisent les élèves à rendre compte à la fois de la montée de la balle et de la descente qui suit celle-ci par une même relation. Après discussion, on vérifie que la relation cherchée peut être écrite sous forme vectorielle et qu'elle s'écrit alors :  $\vec{p}_1 + \vec{F} \cdot t_{12} = \vec{p}_2$ .

La troisième situation-problème proposée est la suivante.

**SITUATION-PROBLÈME N°3 : La balle est maintenant lancée dans une direction oblique. Quelle(s) action(s) vont intervenir pendant le mouvement ? Peut-on, dans ce cas écrire encore une relation ? Si oui laquelle ?**

Une démarche similaire conduit à la validation du modèle suivant.

### MODÈLE DES SITUATIONS DE BALISTIQUE

#### Champ expérimental de référence :

Objets éventuellement lancés puis abandonnés à l'action de la pesanteur (effet de l'air négligé)

#### Notions de base :

masse  $M$  en kilogramme : grandeur qui mesure l'inertie

vecteur vitesse  $\vec{V}$  ( $V$  en mètre par seconde)

temps  $t$  en seconde

force d'attraction terrestre : le poids  $\vec{F}$  ( $F$  en newton)

#### Relations :

définition du vecteur quantité de mouvement  $\vec{p} = M \cdot \vec{V}$

mouvement du centre de gravité  $\vec{p}_1 + \vec{F} \cdot t_{12} = \vec{p}_2$

(1 et 2 représentant deux états du système)

La situation suivante a encore pour but l'élargissement du modèle à des situations nouvelles. On propose aux élèves de débattre et de résoudre le problème suivant.

**SITUATION-PROBLÈME N°4 : Un skieur dévale en ligne droite une pente très glissante assimilable pratiquement à un plan incliné (comme c'est le cas dans les épreuves de ski à grande vitesse). À quelle(s) action(s) se trouve soumis le skieur ? Peut-on modifier le modèle précédent de manière à le rendre applicable à cette nouvelle situation ?**

Les débats et la résolution de ce problème conduisent l'enseignant à une nouvelle formulation du modèle que nous donnons ci-dessous.

## MODÈLE PERMETTANT L'ÉTUDE DU MOUVEMENT D'UN SOLIDE SOUMIS À DES ACTIONS CONSTANTES

### Champ expérimental de référence :

Objets simultanément soumis à des actions que l'on peut considérer comme constantes

### Notions de base :

masse  $M$  en kilogramme : grandeur qui mesure l'inertie

vecteur vitesse  $\vec{V}$  ( $V$  en mètre par seconde)

temps  $t$  en seconde

vecteur force  $\vec{F}$  ( $F$  en newton)

### Relations :

définition du vecteur quantité de mouvement  $\dot{\vec{p}} = M \cdot \dot{\vec{V}}$

mouvement du centre de gravité  $\vec{p}_1 + \vec{F} \cdot t_{12} = \vec{p}_2$

(1 et 2 représentant deux états du système)

principe de superposition : si un corps est soumis simultanément à plusieurs actions représentées par les forces  $\vec{F}_a, \vec{F}_b, \vec{F}_c \dots$ , il évolue comme s'il n'était soumis qu'à une seule action représentée par une force  $\vec{F}$  appelée résultante et donnée par la relation vectorielle :

$$\vec{F} = \vec{F}_a + \vec{F}_b + \vec{F}_c + \dots$$

À la suite de cette séquence, dont l'enseignement a pris près de deux mois, le travail a consisté à examiner des situations pour lesquelles la force résultante  $\vec{F}$  est nulle. La classe a ainsi étudié des situations inertielles et vérifié la première loi de Newton (principe de l'inertie). De plus, le programme de la classe prévoyant l'étude des conditions d'équilibre d'un solide soumis à trois actions, ces situations d'immobilité ont été étudiées comme des cas particuliers de situations inertielles.

### 3. ÉVALUATION

Nous avons conçu cette séquence autour d'un objectif de changement conceptuel : il était important que les élèves abandonnent leurs conceptions intuitives et qu'ils prennent l'habitude de recourir de manière plus

systématique à l'utilisation d'un modèle newtonien. Nous avons évalué le degré d'atteinte de ce changement à l'aide d'une méthode d'évaluation interne doublée d'une évaluation comparative des conceptions.

**Évaluation interne.** En élaborant notre dispositif d'enseignement, nous avons effectué une analyse *a priori* des compétences et savoir-faire attendus. Nous avons ensuite proposé aux élèves de résoudre différents exercices, de répondre à des questions ou de commenter des textes scientifiques, ceci à différentes reprises et notamment plusieurs semaines après cet enseignement. Leurs réponses ont été analysées en référence aux éléments de l'analyse *a priori*. Les résultats semblent montrer une bonne acquisition des savoir-faire pour la majorité d'entre eux (55 à 86 %), et la mise en œuvre d'un raisonnement newtonien lors des activités de résolution de problèmes, et ce pour plus de la moitié environ.

**Évaluation comparative des conceptions.** Nous avons fait passer aux élèves, avant enseignement puis plusieurs semaines après avoir terminé, un test construit d'après un questionnaire élaboré par Halloun et Hestenes (1985). Les résultats obtenus par ces deux méthodes témoignent de progrès très importants : la conception d'impetus présente au départ neuf fois sur dix ne s'est retrouvée, après enseignement, que deux fois sur dix. Tous les élèves sans exception progressent dans leurs réponses. Ce progrès peut être qualifié de très important pour 30% d'entre eux. Nous pensons qu'il y a tout lieu d'être attentif à ce résultat, compte tenu de ce que la recherche en didactique nous apprend sur la très grande résistance de ces conceptions.

## 4. ANALYSE DE LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE RÉALISÉE

La conception de cette séquence a nécessité des choix qu'il nous paraît utile de justifier et qui concernent, pour l'essentiel, d'une part le modèle enseigné, et d'autre part la logique de construction de ce modèle avec la classe.

### 4.1. Légitimité du modèle enseigné

Le modèle s'appuie sur le concept newtonien de force :  $\vec{F}$  modifie  $\vec{v}$  c'est-à-dire accélère, freine ou dévie le corps auquel elle est appliquée. En privilégiant cette définition, nous avons choisi de ne pas nous appuyer sur le rôle des forces dans les déformations ou les équilibres, contrairement à

l'habitude. Nous avons fait intervenir la quantité de mouvement comme capital de mouvement tel que le définit Galilée, c'est-à-dire en mettant l'accent sur les deux aspects antagonistes de ce concept : mouvement par la vitesse et résistance au mouvement par la masse. Halbwachs souligne, en effet, l'intérêt qu'il peut y avoir à fonder un modèle newtonien sur le concept de quantité de mouvement que l'élève désigne spontanément par le mot d'«élan». « *Il est intéressant de noter que l'élan de l'enfant au stade opératoire concret désigne la même notion et joue le même rôle dans la compréhension partielle de la dynamique que le mot d'**impetus** dans la mécanique pré-galiléenne* » (Halbwachs, 1974).

Nous avons donc choisi de privilégier dans la quantité de mouvement le concept de capital, interne au corps en mouvement, et modifié par l'action d'une force. Ce faisant nous nous sommes écarté volontairement de la démarche habituelle qui réduit l'emploi de la quantité de mouvement aux problèmes de chocs. Dans la démarche de modélisation que nous avons entreprise, nous aurions pu réduire l'articulation entre les deux concepts fondamentaux de la mécanique - force et quantité de mouvement - à des considérations qualitatives comme c'est habituellement le cas au début de l'enseignement. Tel ne fut pas notre choix ; nous avons choisi, au contraire de développer un modèle quantitatif. Un argument essentiel qui milite en faveur de l'approche quantitative a été donné par Piaget (Piaget, 1973) puis repris par Halbwachs (Halbwachs, 1974). Selon les travaux de ces derniers, l'existence d'une relation liant les concepts de force et de quantité de mouvement contribue à mieux les distinguer. Ils ont montré que le simple discours sur les effets des forces ne suffisait pas à bousculer les conceptions initiales et qu'il était nécessaire, d'une part d'avoir recours à l'établissement d'une relation liant les deux concepts de force et de quantité de mouvement et, d'autre part, d'entraîner les élèves à utiliser cette relation. Dans la recherche d'une relation simple, nous nous sommes appuyé sur les travaux d'épistémologie génétique de Piaget relatifs à la pensée opératoire causale. Piaget montre en effet que les opérations les plus accessibles à un sujet privilégiant la pensée opératoire causale (ce qui est le cas chez l'adolescent), supposent une distinction tranchée entre «états» et «transformations» opérant sur ces états ; «*dans tous les cas, la compréhension des transformations est nécessaire à celle des états et réciproquement*». Halbwachs montre que cette non-séparation des états et des transformations, particulièrement prononcée dans la loi  $F = d(mV)/dt$ , explique la difficulté rencontrée dans l'enseignement de cette loi (Halbwachs, 1974). Nous avons donc choisi de limiter le champ empirique de notre étude à des situations ne comportant que des forces que l'on peut raisonnablement considérer comme constantes. Dans ce cas, en effet, la relation de la dynamique, deuxième loi de Newton, peut s'écrire :  $\vec{p}_1 + \vec{F} \cdot t_{12} = \vec{p}_2$

## 4.2. Les étapes de la modélisation

Nous avons voulu que les élèves participent le plus possible à l'activité de modélisation. Cependant, le modèle étant trop compliqué pour pouvoir être construit par eux en une seule opération, nous avons décidé de le construire en plusieurs étapes en procédant à des élaborations successives de modèles de plus en plus perfectionnés, chacun d'eux correspondant à une situation-problème, et chacun emboîtant les précédents. Nous avons arrêté le choix des situations en fonction du niveau de complexité du modèle à construire. L'objectif de chaque nouvelle situation était de faire apparaître l'inadaptation du modèle précédemment construit, et la nécessité de le perfectionner si l'on voulait pouvoir interpréter la situation nouvelle en même temps que les situations antérieures. De plus, les situations devaient être motivantes, suffisamment simples et toujours très ancrées dans la réalité quotidienne des élèves afin de faciliter le processus de dévolution. On pouvait craindre que la redondance méthodologique qui apparaît au fil des situations engendre un phénomène de lassitude chez les élèves. Il n'en fut rien. Bien au contraire, nous avons pu constater que les similitudes de méthodologie employées lors des activités de modélisation ont eu, semble-t-il, un effet bénéfique, et qu'elles ont contribué favorablement à la dévolution des problèmes.

Comme on le voit, la logique des situations est celle des modèles et non une logique d'exposition. Nous avons privilégié une organisation du curriculum respectant un *principe de nécessité* lié à la résolution des problèmes. Les notions et concepts du cours sont donc intervenus en tant qu'outils nécessaires à la résolution, c'est-à-dire en privilégiant le statut opératoire des connaissances par rapport à leur aspect déclaratif. C'est ainsi que la séquence ne fut précédée d'aucun enseignement de cinématique et que, par exemple, les notions de trajectoire ou de vitesse ne furent introduites et travaillées que lorsqu'elles furent rendues nécessaires par la situation. L'ordre dans lequel les notions ont été introduites a donc été très différent de celui qu'on observe généralement dans une démarche traditionnelle. Il s'agissait en effet de permettre la construction des connaissances à la lumière des situations, sans se laisser imposer une chronogenèse fondée sur une autre logique que celle de la résolution du problème (Chevallard, 1985).

En choisissant ainsi d'inscrire l'enseignement des sciences physiques dans des activités de résolution de problème et de modélisation, nous avons fait en sorte que l'élève appréhende le plus justement possible la démarche de la physique telle qu'elle est actuellement reconnue par la grande majorité des physiciens et, en veillant toujours à bien différencier la réalité du modèle, qu'il s'approprie le rapport dialectique qui les lie. Notre



souci fut toujours qu'il comprenne bien que c'est au niveau de l'articulation modèle/réalité que se situe la validation des connaissances scientifiques.

### 4.3. Prise en compte des conceptions des élèves

Nous avons déjà mentionné la grande résistance des conceptions auxquelles nous avons dû nous attaquer dans cet enseignement. Loin de minimiser leur importance dans le travail effectué avec la classe, nous les avons mises à l'épreuve en nous efforçant de les rattacher aux théories préscientifiques d'impetus que nous n'avons pas hésité à enseigner. L'aspect le plus caractéristique de notre démarche fut sans doute le parti que nous avons pris de faire fonctionner les représentations des élèves comme pré-modèles (Johsua, 1989). Ainsi, plutôt que de chercher à détruire systématiquement les conceptions en tentant de montrer aux élèves leurs erreurs et de les dissuader dans leur démarche, nous les avons au contraire encouragés à les faire fonctionner afin qu'ils soient convaincus de la nécessité de recourir à des concepts plus performants. Par exemple, dans l'étude du mouvement d'une balle lancée, nous n'avons pas cherché à montrer que la «*force de lancement*» n'avait pas de raison d'être. Nous avons au contraire progressivement amené les élèves à décider qu'il était préférable de ne pas ranger dans la même catégorie, d'une part l'action mécanique de la Terre, et d'autre part l'élan, compris comme capital interne communiqué par la main du lanceur à la balle. C'est ainsi qu'ils ont été conduits à différencier les concepts de force et de quantité de mouvement. Il nous semble que cette démarche nous a permis en quelque sorte de «détourner» la conception d'impetus vers la notion de quantité de mouvement.

### 4.4. Le statut de l'expérimental

Le respect de nos hypothèses d'apprentissage nous a conduit à inscrire l'expérimental de cet enseignement dans une démarche de preuve. Nous avons largement fait appel à l'expérience de pensée comme source d'hypothèses et à l'élaboration d'expériences-tests dans le but de les confirmer. Quant à l'expérience proprement dite, nous l'avons essentiellement utilisée comme élément de validation, sans toutefois trop laisser entendre aux élèves qu'une expérience, si précise soit-elle, pouvait suffire à valider une théorie. Les recherches sur les conceptions nous enseignent qu'une expérience ne peut, à elle seule, suffire à renverser les conceptions de l'élève. Dans cet enseignement, nous n'avons donc pas cherché à concevoir chaque expérience avec l'objectif de prouver rapidement

la validité d'une loi ; nous avons plutôt entrepris d'attaquer, d'ébranler de plus en plus les raisonnements pseudo-aristotéliens tout au long du dispositif que nous avons mis en œuvre. Enfin, le choix du matériel expérimental a toujours été guidé par le souci de faire appel à des objets très familiers de l'élève et aussi peu sophistiqués que possible.

## 5. STRUCTURE DES SITUATIONS-PROBLÈMES

Dans la conception et la conduite des situations-problèmes, nous avons fait appel à une mise en œuvre constructiviste fondée sur l'apprentissage par résolution de problèmes selon une logique qui s'inspire, en l'adaptant, de la théorie des situations didactiques de Guy Brousseau. Lors d'une telle situation, les élèves construisent des connaissances en résolvant le problème qui leur est posé tandis que l'enseignant gère la situation en se tenant volontairement, et autant que faire se peut, à l'écart, évitant ainsi le plus possible d'apporter les éléments de la réponse attendue. Pour reprendre une image de Daniel Gil Perez, le rôle de l'enseignant consiste à guider l'activité de la classe en suivant une méthodologie proche de celle d'un directeur de recherches vis-à-vis des chercheurs novices de son laboratoire (Gil Perez, 1991).

Toutes nos situations ont été construites selon des architectures voisines comprenant une phase d'anticipation suivie d'une phase de modélisation.

La **phase d'anticipation** commence par la proposition d'une expérience à réaliser correspondant à une situation problématique concrète, toujours très simple et bien inscrite dans la réalité quotidienne de l'élève. Celui-ci se trouve alors conduit à faire un pronostic sur le résultat et surtout à s'engager dans une argumentation mettant en jeu ses conceptions. À ce stade, ces dernières constituent bien souvent le seul référent théorique dont il dispose pour faire des anticipations sur le résultat de l'expérience. Le rôle de cette phase d'anticipation est de créer les conditions d'un conflit qu'on espère voir apparaître lors de la phase d'expérimentation qui suivra. Elle doit normalement conduire les élèves à rechercher les conditions d'une vérification expérimentale de leurs conjectures. Nous avons en effet toujours vérifié à ce stade une très grande activité des élèves dans la recherche et l'élaboration du dispositif expérimental de contrôle. Or, l'expérimentation entreprise à ce niveau permet généralement de conclure à l'inefficacité des conceptions comme modèles explicatifs pour la situation étudiée, ce qui ne manque pas d'interroger les élèves. Incontestablement, l'anticipation semble jouer un rôle très important dans la dévolution du problème à l'élève et la déstabilisation momentanée des conceptions.

La **phase de modélisation** consiste soit à faire élaborer par les élèves, réunis en petits groupes de quatre ou cinq, un modèle théorique de la situation étudiée expérimentalement, soit à améliorer un modèle élaboré précédemment. Elle commence par une recherche de modèles plausibles qui sont formulés par les élèves à titre d'hypothèses. Elle se poursuit par l'élaboration et la mise en œuvre par les élèves d'une ou de plusieurs expériences tests. Les résultats des mesures expérimentales contribuent à la validation du modèle qui sera retenu. Dans notre cas, la modélisation a nécessité à plusieurs reprises l'intervention de l'enseignant, même si une partie importante du travail fut le fait des groupes d'élèves. Elle était d'ailleurs inévitable dès lors que le modèle requérait l'usage de concepts mathématiques jusque là peu coutumiers des élèves comme, par exemple, les vecteurs. Cependant, dès lors que le modèle fut construit, les élèves n'eurent aucune difficulté à vérifier expérimentalement sa capacité à rendre compte de la situation étudiée et ils le firent bien volontiers.

Ce travail, ainsi que d'autres recherches antérieures (Robardet, 1990), nous a permis de faire le point sur le concept de situation-problème en physique. La séquence que nous venons de présenter montre qu'un tel dispositif peut permettre la construction de connaissances en proposant à l'élève un apprentissage par adaptations progressives et par résolution de problèmes successifs. Ainsi, une situation-problème semble avoir pour fonction essentielle d'associer la construction du sens à celle des connaissances. Ce faisant, elle a pour objectif le franchissement d'un obstacle épistémologique ou didactique souvent fondé sur la présence d'une ou plusieurs conceptions. Cependant, en raison de la très grande résistance de ces conceptions, l'obstacle ne peut généralement pas être franchi rapidement. **Plusieurs situations-problèmes sont le plus souvent nécessaires** pour ébranler une conception et contribuer ainsi au développement conceptuel de l'élève. Ainsi, une situation-problème doit être pensée à l'intérieur d'un dispositif plus large de situations, chacune apportant sa contribution particulière. Enfin, il apparaît à la lumière de ce travail qu'un ensemble cohérent de situations-problèmes peut servir de cadre à une démarche de modélisation par emboîtement successif.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARSAC G., DEVELAY M. & TIBERGHEN A. (1989). *La transposition didactique en mathématiques, en physique, en biologie*. Lyon, IREM, LIRDIS.
- BROUSSEAU G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 7, n° 2, pp. 33-115.
- BROUSSEAU G. (1988). Le contrat didactique : le milieu. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 9, n°3, pp. 309-336.

- CHEVALLARD Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- GIL PEREZ D. (1987). La résolution de problèmes comme activité de recherche : un instrument de changement conceptuel et méthodologique. *Petit X*, n° 14-15, pp. 25-38. Grenoble, IREM.
- GIL PEREZ D. (1991). Contre les stratégies orientées à la production de changements conceptuels. In *Actes du premier séminaire national de recherches en didactique des sciences physiques*. Grenoble, IFM Université Joseph Fourier, pp. 113-125.
- HALBWACHS F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- HALLOUN I.A. & HESTENES D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, vol. 53, n° 11, pp. 1056-1065.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : Le débat scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne, Peter Lang.
- MC CLOSKEY M. (1983). L'intuition en physique. *Pour la science*, n° 68, pp. 68-76.
- PIAGET J. (1973). *Introduction à l'épistémologie génétique. Vol 2 : La pensée physique*. Paris, PUF.
- ROBARDET G. (1990). Utiliser des situations-problèmes pour enseigner les sciences physiques. *Petit X*, n° 23, pp. 61-70. Grenoble, IREM.
- SALTIEL É. (1986). Raisonnements spontanés des élèves et modèles physiques passés ou actuels. *Groupe physique IREM*, Tome 1, n° 87, pp. 5-18. Rouen, IREM.
- VIENNOT L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris, Hermann.

# Conception d'une formation pour enseignants de physique : un changement de perspective dans un cours de perfectionnement au Brésil

Jesuína L.A. PACCA, Alberto VILLANI

Instituto de Física  
Universidade de São Paulo  
Caixa Postal 66318  
05389-970 São Paulo, SP, Brésil.

## Résumé

*Un cours de perfectionnement pour enseignants de physique au lycée a été construit dans le but de produire, chez les enseignants concernés, un changement de conception de l'enseignement et de l'apprentissage. Ce cours de perfectionnement exploite le travail réalisé par chaque enseignant dans sa classe. Une reformulation permanente de ce travail fait l'objet de discussions et permet d'établir des critères nécessaires à un apprentissage significatif. Les résultats nous permettent de dégager quelques caractéristiques d'un enseignant capable de contrôler et de conduire l'apprentissage de façon cohérente avec une conception constructiviste de l'acquisition des connaissances.*

**Mots-clés :** *perfectionnement d'enseignants, plan de travail pédagogique, conceptions de l'enseignement de la physique, changement conceptuel de l'enseignant.*

## **Abstract**

*An updating course for secondary school teachers was designed with the purpose of producing a change in teachers' learning and teaching concepts. The course took the class plan and its continuous reformulation as an object of discussion, and at the same time led to build up the criteria which were necessary for reaching the meaningful learning. The results which were obtained enable the identification of some of the elements of the teachers' performance which may control and conduct learning in a way which is coherent with a constructivistic conception of knowledge acquisition.*

**Key words :** *teachers' updating, pedagogical planning, physics teaching conceptions, teachers' conceptual change.*

## **Resumen**

*Un curso de perfeccionamiento para enseñantes de física en el liceo, ha sido construido con la finalidad de producir en los enseñantes involucrados, un cambio de concepción de la enseñanza y del aprendizaje. Ese curso de perfeccionamiento explota el trabajo realizado por cada enseñante en su clase. Una reformulación permanente de este trabajo hace el objeto de discusiones y permite de establecer criterios necesarios a un aprendizaje significativo. Los resultados nos permiten despejar algunas características de un enseñante capaz de controlar y de conducir el aprendizaje de manera coherente con una concepción constructivista de la adquisición del conocimiento.*

**Palabras claves :** *perfeccionamiento de enseñantes, plan de trabajo pedagógico, concepciones del enseñante de física, cambio conceptual del enseñante.*

## **INTRODUCTION**

L'enseignement de la physique dans les lycées au Brésil pose de graves problèmes dont certains sont dus à une formation insuffisante des enseignants et à une manque de motivation des élèves, ce qui se traduit par une qualité médiocre des acquisitions scolaires. Une modification profonde et sérieuse de la formation initiale des enseignants doit intervenir dès que possible si on souhaite en voir les effets à moyen et long termes.

Nous parlerons ici d'un projet de l'université de São Paulo (Brésil) qui a pour but principal le recyclage ou, comme nous préférons le nommer, le perfectionnement d'enseignants de physique en lycée. Il s'agit, dans cette formation, de faire en sorte que l'enseignant abandonne sa conception initiale de l'enseignement, qui suppose que l'enseignant est un transmetteur d'informations et de contenu scientifiques, que l'élève est vide de connaissances et que la vérité se trouve dans les livres et les cours du

professeur, pour acquérir des attitudes compatibles avec une conception constructiviste de l'apprentissage et de l'acquisition de connaissances.

Les cours ne rejettent pas les activités quotidiennes de l'enseignant en classe puisqu'elles font partie intégrante de la formation. Ils ont pour objectif d'aider l'enseignant à résoudre les difficultés conceptuelles qu'il rencontre lors de l'apprentissage des élèves et à modifier ses pratiques pédagogiques. De ce fait, il est extrêmement important que ce recyclage s'étende sur deux ou trois semestres scolaires afin de permettre d'intégrer dans la pratique de chacun les nouvelles idées, par une reformulation du plan de cours s'appuyant sur un «feed-back» constant obtenu dans les classes.

L'objectif de ce perfectionnement est l'élaboration d'un plan de travail personnel qui soit compatible avec la capacité de chacun et qui permette de contrôler l'apprentissage des élèves. L'idée directrice du projet est de se centrer sur une petite partie de la pratique pédagogique de l'enseignant et de lui permettre, à partir de là, d'en construire une autre, avec l'aide des formateurs responsables ainsi que de ses collègues enseignants, jusqu'à un achèvement qui dépend des aptitudes didactiques de chacun.

## **1. DESCRIPTION ET STRATÉGIE DU PROGRAMME**

Le perfectionnement s'adresse à des enseignants de physique en activité et se déroule pendant l'année scolaire. Il comprend quatre modules qui traitent de mécanique : les lois de Newton et les lois de conservation. Ce cours de perfectionnement, qui fonctionne depuis deux ans, s'est poursuivi en 1994-95 avec un groupe de dix enseignants. Les rencontres ont lieu tous les quinze jours et durent quatre heures chacune. Chaque module se compose de huit à dix rencontres, ce qui représente environ 150 heures, réparties sur quatre semestres scolaires.

En dehors des rencontres, l'enseignant a des tâches bien précises à faire chez lui, ou pendant ses cours avec ses élèves, ce qui représente environ deux heures de travail par semaine.

De plus, des réunions périodiques des formateurs, programmées entre les rencontres, ont pour objectifs d'évaluer et de programmer de façon détaillée la séance suivante.

Une partie significative des données pour l'analyse du cours a été fourni par les registres d'un observateur, présent à chacune des rencontres, dont le rôle était d'observer non seulement les comportements des enseignants mais aussi ceux des formateurs responsables des programmes.

Le but des observations n'était pas tant la production de résultats de recherches que l'élaboration continue du programme du cours, en modifiant

et en adaptant les activités pour garantir la qualité du plan de travail et le changement de conception des enseignants sur l'enseignement.

En partant de l'idée que le cours de perfectionnement devait aider les enseignants, en s'appuyant sur leurs compétences initiales, à organiser et orienter leur enseignement pour améliorer la qualité de l'apprentissage, nous avons explicité un certain nombre de questions qui ont débouché sur des actions spécifiques.

### **1.1. Quel est le problème précis à résoudre ?**

La difficulté générale de l'enseignant est de planifier ses cours ; cette difficulté peut être due à différentes sortes de lacunes dans le contexte professionnel et pédagogique, au niveau de la compréhension du contenu par l'enseignant, de l'accès aux ressources didactiques et aux matériaux appropriés, de la connaissance des processus d'apprentissage et de construction des connaissances, ainsi qu'au niveau des conditions de travail.

### **1.2. Quelles sont les informations nouvelles et intéressantes pour l'enseignant ?**

L'enseignant devant élaborer et travailler son plan de cours, le cours de perfectionnement offre des activités qui engendrent des discussions concernant aussi bien le contenu de la physique, les différentes façons de considérer les élèves que le rôle de l'enseignant dans les interactions en classe. Dans cet état d'esprit, sont présentés aux enseignants des questionnaires et des problèmes choisis dans les travaux de recherche sur les conceptions alternatives, avec un double objectif : dégager et discuter les conceptions des enseignants eux-mêmes et leur donner des outils didactiques pour travailler en classe avec leurs élèves (des problèmes à intégrer, par exemple, dans leurs plans de travail).

### **1.3. Comment interagir avec sa compétence professionnelle ?**

Pour les formateurs responsables du cours de perfectionnement, l'un des problèmes les plus délicats concerne la façon de considérer l'enseignant. D'un côté, l'enseignant est un professionnel qui doit être aidé à réélaborer ses outils pédagogiques afin de les utiliser au mieux dans ses classes et, de l'autre côté, l'enseignant est un élève qui doit être traité de la même façon qu'on souhaiterait qu'il traite ses propres élèves. Une autre difficulté à ne



pas sous-estimer concerne le degré de participation et de motivation de l'enseignant à une nouvelle manière d'envisager l'enseignement de la physique, en particulier au fait d'être attentif à toutes propositions d'interventions des élèves, surtout à celles qui révèlent des conceptions inadéquates et indésirables (sans les contraindre ou les ignorer, mais en les remettant en question, en cherchant leurs raisons). Le matériel produit par l'enseignant en formation, même minime, est toujours pris en considération dans les discussions qui aboutissent à des propositions incluant d'autres activités qui lui sont proches comme des expériences, d'autres problèmes, etc.

#### **1.4. Comment évaluer l'enseignant ?**

L'enseignant est évalué de façon continue durant le perfectionnement dans la mesure où ses réponses et ses propositions sont discutées. Au début du cours, sont prévues de fréquentes activités en commun au cours desquelles sont examinés les problèmes et certains plans de travail, afin d'introduire une habitude qui n'est pas répandue parmi les enseignants.

Ensuite, viennent des activités de discussion en petits groupes, activités importantes parce qu'elles permettent aux enseignants d'échanger des expériences et de développer leur capacité de discussion.

Les plans de travail sont réélaborés durant la suite du cours de perfectionnement : soit des éléments nouveaux sont ajoutés au plan initial, soit le plan initial est entièrement refait, selon les cas et le choix du participant. Bien que le travail de l'enseignant avec ses élèves ne soit pas observé, il est en partie connu grâce aux rapports qu'en font les enseignants durant les rencontres, à l'aide de ce que nous appelons «Diário de Bordo» (journal de bord). Cette façon de procéder préserve l'autonomie de décision de l'enseignant ainsi que son contrôle de l'apprentissage des élèves – une caractéristique essentielle du comportement d'un professionnel. En même temps, ceci permet d'avoir accès aux représentations que l'enseignant a de sa pratique, puisqu'il est libre de choisir ce dont il veut rendre compte et comment il veut le faire, ce qui indique bien qu'il est totalement responsable du travail qu'il effectue en classe.

Le matériel utilisé pour l'évaluation de l'enseignant tout au long du cours de perfectionnement est constitué de travaux écrits, des activités réalisées dans le cadre du plan de travail, des observations effectuées par un observateur durant les rencontres, d'entretiens individuels et d'exposés.

## 2. LA CONNAISSANCE DE LA PHYSIQUE ET LA QUALITÉ DU PLAN DE TRAVAIL

Les activités les plus importantes au début du programme ont été celles qui ont permis de discuter de problèmes de physique en donnant l'occasion aux enseignants de mieux en comprendre le contenu et, à partir de là, de traiter la physique avec rigueur et exactitude.

Cette situation est apparue à l'occasion de deux activités différentes :

– d'abord, comme nous l'avons déjà mentionné, au cours de discussions sur des questions qui permettent de mettre en évidence des conceptions spontanées, rencontrées dans des articles qui traitent de ce sujet (Clément, 1982 ; Saltiel, 1979 ; Viennot, 1979 ; Whitaker, 1983).

– ensuite lors de discussions sur les problèmes apportés par les participants eux-mêmes, problèmes effectués avec leurs élèves pour traiter d'un contenu particulier de la physique.

Avec précaution et un peu de diplomatie, tout au moins au début, les réponses inadéquates étaient attribuées aux élèves, puis avec le temps, les participants exposaient leurs propres difficultés, montraient qu'ils étaient en train d'apprendre, tout en étant enchantés de le faire. Les différentes activités menées durant ces cours ont permis d'avoir des informations sur la façon de fonctionner des enseignants.

De façon rapide et simpliste, il est possible de dire qu'un enseignant brésilien de physique a une mauvaise formation en physique et un manque de motivation pour l'enseignement. Avec ce profil initial, en réponse à une première activité demandée, il élabore un plan de travail qui reproduit littéralement la table des matières d'un livre à la mode et il est incapable de défendre, voire même de critiquer, la séquence ainsi proposée.

Il est pourtant souhaitable qu'un enseignant ait des connaissances raisonnables en physique (au niveau exigé dans l'enseignement au lycée) et soit motivé pour un apprentissage significatif. Afin de l'aider à évoluer d'un profil à l'autre, nous essayons d'organiser un parcours en trois étapes, chacune ayant pour point de départ le profil de l'enseignant à ce moment-là.

La première étape – mise au point sur le contenu – se caractérise par l'introduction d'activités choisies parmi celles étudiées durant le cours (problèmes spécifiques ou expériences). Nous avons constaté que l'enseignant devient exigeant et rigoureux en ce qui concerne le contenu des problèmes et ne choisit que les problèmes qu'il a compris dans le cours de perfectionnement.

La remise en question par les formateurs des réponses simplistes et immédiates, mais considérées comme correctes, a pour but d'approfondir le caractère explicatif ou justificatif de l'information : nous cherchons ainsi à introduire une nouvelle vision de l'évaluation qui soit capable de produire le «feed-back» nécessaire à la poursuite du cours, tout en garantissant une bonne qualité de l'apprentissage.

La deuxième étape – mise en évidence des conceptions des élèves – se caractérise par le fait que les enseignants prennent conscience qu'il est important de faire face aux «mauvaises» conceptions des élèves et que derrière les réponses inadéquates, il y a les conceptions alternatives qui ont besoin d'être modifiées mais jamais ignorées. Sur ce point, le plan considère explicitement que le diagnostic des conceptions des élèves est la source des données de connaissances sur lesquelles l'enseignant doit travailler. Des évaluations constantes semblent donc nécessaires pour obtenir l'explicitation d'objectifs d'apprentissage clairs. Cette étape apparaît comme une retombée du travail avec les élèves lors de la mise en œuvre du plan élaboré.

En analysant les informations que nous donnent les enseignants sur les difficultés rencontrées par leurs élèves et en essayant de comprendre ces difficultés avec eux, nous pouvons mettre en évidence les idées inadéquates des enseignants sur ces problèmes, et montrer que les réponses indésirables font partie du processus d'apprentissage.

La troisième étape – mise au point sur les activités d'évaluation – se caractérise par la prise de conscience par l'enseignant du rôle de l'évaluation et de sa capacité à élaborer des situations problématiques à partir des conceptions qui apparaissent en classe. L'enseignant perçoit l'importance de pouvoir compter sur un stock de problèmes de physique, ainsi que sur l'aide de personnes spécialisées pour conduire l'apprentissage de ses élèves en respectant les formes adéquates de construction de la connaissance.

### **3. LES ÉLÉMENTS D'UN CHANGEMENT CONCEPTUEL DE L'ENSEIGNANT**

Comme nous l'avons dit plus haut, compte tenu des conditions de l'enseignement de la physique au Brésil, il s'agit de produire des changements importants dans la vision scientifique et éducative de l'enseignant, ces changements concernant autant la conceptualisation de la physique et des sciences de façon générale, que la conceptualisation de l'enseignement et de l'apprentissage de la physique ainsi que des attitudes didactiques correspondantes :

a) passage d'un individu passif fonctionnant selon un processus en majeure partie bureaucratique, à un individu responsable de son apprentissage et de sa pratique professionnelle ;

b) passage d'un individu utilisateur d'une connaissance scientifique superficielle et fermée, à un individu utilisateur d'une connaissance rigoureuse et significative ;

c) passage d'un individu soucieux surtout d'exposer ses propres connaissances, à un individu attentif à enregistrer et à interpréter les paroles des élèves pour mieux comprendre leurs idées ;

d) passage d'un enseignant spontané et intuitif qui prépare ses cours rapidement et qui les conduit par routine, à un enseignant professionnel qui planifie et mène ses activités avec des critères bien définis ;

e) passage d'un enseignant «efficace» qui cherche les activités qui lui laissent penser que l'apprentissage des élèves sera immédiat, à un enseignant patient et conscient qu'un apprentissage significatif est long et complexe et qu'il doit en permanence en chercher les indices.

#### **4. LA STRATÉGIE POUR UN CHANGEMENT CONCEPTUEL DE L'ENSEIGNANT EN PHYSIQUE**

La dynamique établie au long des cours doit tenir compte de l'enseignant et de ses contributions en cherchant à faire en sorte qu'il examine avec de nouveaux critères ce qu'il est en train de faire ; en même temps, on espère qu'il transférera dans son activité les procédures et les stratégies d'enseignement qui favorisent la construction de la connaissance.

La stratégie utilisée, qui progresse et s'affine au fur et à mesure de la progression des cours de perfectionnement, s'appuie sur quelques procédures systématiques essentielles.

a) L'élaboration d'un plan de travail personnel, continuellement discuté avec les formateurs et les collègues enseignants.

La conséquence de ce choix est l'abandon progressif par l'enseignant de sa pratique bureaucratique (au moins par rapport à l'objet plan de travail) et la prise de conscience de sa propre responsabilité professionnelle.

b) La mise à jour des conceptions inadéquates de l'enseignant contenues dans ses propositions didactiques.

La remise en question continue et critique a pour objet d'habituer l'enseignant à être plus actif dans la recherche des «bonnes» réponses par rapport à la physique et à l'enseignement.

c) L'analyse et l'utilisation en vue d'un apprentissage de matériaux didactiques : questions et expériences simples qui permettent d'affiner les connaissances en physique et de mettre en évidence les conceptions alternatives.

Cette activité participe à la remise en question des idées empiristes des enseignants sur la construction des connaissances et à la perception progressive de la complexité du processus d'apprentissage.

d) L'application du plan de travail avec les élèves parallèlement au développement du cours.

Cette tâche aboutit à la construction de critères utiles à la planification et à la conduite des cours. Trois critères nous paraissent importants : la définition des objectifs spécifiques de contenu qui doivent être clairement explicités et poursuivis systématiquement au cours des interactions didactiques dans la classe ; la mise en évidence des réponses des élèves et leur prise en compte dans les activités de la classe ; et enfin l'évaluation constante comme «feed-back» pour une réélaboration du plan de travail.

## 5. CONCLUSION

L'enseignement de la physique au Brésil et dans le monde entier traverse une crise en tentant de transférer les résultats des recherches sur les conceptions alternatives et les changements conceptuels observés dans des situations expérimentales à ceux qui pourraient se produire dans les salles de classe. L'un des points d'étranglement concerne la difficulté de transférer aux enseignants les connaissances et les attitudes liées aux stratégies élaborées pour les recherches ; les résultats en classe étant en général loin d'être satisfaisants. Au Brésil et dans les pays qui présentent des difficultés spécifiques dans l'actualisation des connaissances des enseignants, deux stratégies différentes sont utilisées. Avec la première, des formations proposent aux enseignants des projets nouveaux avec une méthodologie et un contenu propres, en fournissant des ressources didactiques (textes et expériences simples), capables de guider l'enseignant dans la mise en œuvre du projet en classe. Dans la seconde stratégie, les formations ciblent de préférence les connaissances et les compétences déjà acquises par les enseignants, avec pour objectif essentiel de les réorganiser et de les améliorer. Le but visé est que l'enseignant maîtrise mieux ses connaissances scientifiques et qu'il acquière un plus grand contrôle didactique en classe.

Notre projet s'insère dans cette deuxième perspective et nous avons l'espoir d'obtenir des résultats plus stables puisqu'il s'appuie concrètement sur les difficultés et les manques explicites de l'enseignant. À côté de la

reconstruction des connaissances de l'enseignant en physique, et d'une façon cohérente avec l'activité des formateurs directeurs du projet, un autre facteur, essentiel pour la compétence professionnelle de l'enseignant, apparaît : la prise en compte par l'enseignant des erreurs des élèves et de leurs conceptions alternatives. L'appropriation par les enseignants d'une telle attitude n'est pas plus facile à acquérir qu'un nouveau contenu scientifique ; cependant, au fur et à mesure que cette appropriation s'effectue, elle devient un instrument de travail transférable, en principe, à tous les contenus et constitue un stimulus de rénovation de chaque activité didactique.

On attend des enseignants, durant leurs cours, une mise en évidence progressive des réponses des élèves qui les rende objet de discussion et d'interprétation. Il nous semble important, pour la formation et la motivation de l'enseignant, de l'inciter à comprendre la performance effective de l'élève et non seulement à la comparer à un schéma *a priori*.

Au début, l'intérêt pour les conceptions alternatives est personnel et se rapporte aux propres conceptions de l'enseignant ; il se déplace progressivement vers les conceptions des élèves. L'intérêt revient plus tard de façon plus naturelle lorsque l'enseignant cherche à caractériser de façon plus subtile le processus d'apprentissage des élèves, en expliquant le contenu de leurs questions et de leurs réponses.

Le souci qui guide l'élaboration et la mise en œuvre de ce cours de perfectionnement n'est pas seulement de chercher les activités et les formulations de contenu à offrir aux enseignants pour qu'ils puissent l'exploiter durant leurs propres cours, mais aussi de chercher les conceptions scientifiques et éducatives des enseignants qui doivent être réélaborées pour qu'ils apprennent à gérer professionnellement leur enseignement, ainsi que de connaître les conditions d'apparition de ces conceptions durant les activités proposées.

De façon similaire, l'enseignant, lors de l'élaboration de son plan de travail, ne cherchera pas seulement quel est le problème adéquat ou l'activité la plus efficace pour enseigner aux élèves la «loi de conservation de la quantité de mouvement», mais plutôt quelles sont les conceptions des élèves qui doivent être réélaborées pour qu'ils apprennent la conservation de la quantité de mouvement, et comment ces conceptions pourront apparaître dans les activités proposées.

## BIBLIOGRAPHIE

- CLEMENT J. (1982). Students' preconception in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 50, n°1, pp. 66-71.
- PACCA J.L.A. & VILLANI A. (1984). Scientific knowledge and didactical ability. Communication présentée à l'International Conference *Thinking Science for Teaching. The case of Physics*. Roma, Italie.
- PACCA J.L.A. & VILLANI A. (1991). Difficulties of teachers in teaching the law of inertia. In *Teaching about reference frames from Copernicus to Einstein. Proceedings of the International Conference on Physics Education*. Torun, Poland, pp. 387-391.
- PACCA J.L.A. & VILLANI A. (1992). Estratégias de ensino e mudança conceitual na atualização de professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 14, n°4, pp. 222-228.
- SALTIEL É. & MALGRANGE J.-L. (1979). Les raisonnements naturels en cinématique élémentaire. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°616, pp. 1325-1355.
- VIENNOT L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, vol. 1, n°2, pp. 205-221.
- VILLANI A. & PACCA J.L.A. (1991). Difficulties for comprehension of the law of inertia. In *Teaching about reference frames from Copernicus to Einstein. Proceedings of the International Conference on Physics Education*. Torun, Poland, pp. 382-386.
- WHITAKER R.J. (1983). Aristotle is not dead : student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, vol. 51, n°4, pp. 352-357.

## Remerciements

Nous voulons remercier É. Saltiel et la rédaction de la revue pour leurs suggestions et leur révision du texte en français. Nous remercions aussi le support financier de la CAPES et du CNPq au Brésil, pour la recherche et l'exécution du projet de perfectionnement.

## **ANNEXE**

### **Grille d'observation et d'analyse du cours de perfectionnement**

Nous ne disposions pas, au départ, d'une grille d'observation toute faite permettant de noter les éléments significatifs par rapport à nos objectifs et pouvant ainsi faciliter l'analyse des informations recueillies. Dans notre cas, les outils d'analyse ont été élaborés pendant le déroulement du cours de perfectionnement. Ce n'est qu'ultérieurement que nous avons pu définir et structurer les catégories pertinentes par rapport aux informations produites et saisies par les observateurs et au matériel fabriqué durant le cours, d'une part, et par rapport aux objectifs affichés, d'autre part.

Nous présentons ci-dessous les cadres des catégories qui constituent nos grilles d'analyse ; ces cadres tiennent compte de la performance souhaitée par l'enseignant qui passe par un changement dans sa conception de l'enseignement de la physique, et des éléments représentatifs du comportement explicite des responsables du programme et des enseignants.

#### **Les éléments d'une nouvelle conception de l'enseignement de la physique**

– maîtrise des rapports et des variables pertinentes pour la représentation des phénomènes physiques, perception de l'origine et du niveau des simplifications produites ;

– perception et identification des conceptions alternatives implicites dans les réponses des élèves en localisant les paramètres «distrayants» qui les nourrissent ;

– compréhension des différences dans les questions, les perspectives et les objectifs de la connaissance scientifique et du sens commun ;

– capacité à identifier les éléments, les variables et les perspectives qui peuvent être proches de celles de la connaissance scientifique souhaitée et qui sont présents dans la connaissance des élèves ;

– organisation du matériel pédagogique ayant pour fonction de déclencher et de maîtriser les conflits entre la connaissance scientifique et la connaissance alternative des élèves ;

– assurance nécessaire pour faire face aux discussions provoquées mais véritables entre élèves qui favorisent l'explicitation de leurs doutes et de leurs questions ;



– capacité à analyser et à évaluer les activités didactiques quant à leurs finalités potentielles dans le contexte d'un enseignement constructiviste.

## **Les indicateurs du comportement des professeurs-formateurs et des enseignants**

1. Les activités spécifiques devant être développées par les professeurs responsables :

– discussion systématique sur les objectifs que l'on cherche à atteindre à l'aide des activités didactiques proposées ;

– discussion des critères implicites ou explicites pour l'élaboration d'un plan de travail didactique qui tienne compte de la population et des objectifs affichés ;

– évaluation explicite de la structure et des activités proposées dans le plan de travail individuel, en cherchant à être aussi complet et cohérent que possible ;

– discussion des problèmes et des questions de physique présentées avec rigueur, en introduisant des variations dans la forme des questions et en explicitant les simplifications faites ;

– mise en évidence des idées implicites ou explicites (alternatives) des enseignants pour déclencher la réflexion et stimuler les conflits cognitifs ;

– conclusion des discussions par des synthèses claires sur le sujet traité ;

– discussion sur les évaluations proposées en explicitant les points que l'on cherche à évaluer ;

– repérage des indicateurs de performance des enseignants (leur intérêt, leur effort, leur application, leur créativité) pour les mettre en valeur ;

– suite d'activités et de rencontres au sujet des tâches systématiques que les enseignants devaient faire chez eux, et discutées ensuite au fur et à mesure.

2. Les tactiques utilisées par les formateurs dans la conduite des rencontres :

– discuter avec les enseignants jusqu'à l'obtention de la participation de la majorité d'entre eux ;

– renvoyer les questions adressées aux formateurs aux enseignants eux-mêmes afin qu'ils les discutent ensemble ;

- intervenir systématiquement pour obtenir de la part des enseignants des explications et des justifications de leurs affirmations et de leurs doutes ;
- fournir aux enseignants des informations concises susceptibles de dynamiser les discussions et de faire progresser le groupe ;
- donner la priorité aux discussions sur les questions et problèmes posés par les enseignants eux-mêmes.

### 3. Le développement de la connaissance scientifique des enseignants :

- participation effective dans les discussions avec explicitation des doutes et/ou des informations pertinentes ;
- reconnaissance, dans les explications et justifications fournies par eux-mêmes ou par leurs élèves, des éléments incompatibles avec la connaissance scientifique ;
- identification des relations et des variables pertinentes par rapport au phénomène classique analysé et reconnaissance des simplifications réalisées implicitement ;
- explicitation précise des différences qui existent entre la vision spontanée et la vision scientifique d'un phénomène physique donné ;
- enrichissement de son plan de travail par l'adjonction cohérente et articulée de nouvelles activités, y compris d'activités expérimentales ;
- élaboration de raisonnements cohérents avec les principes physiques, susceptibles d'aboutir à des solutions correctes au cours des discussions collectives ;
- élaboration d'évaluations cohérentes sur ce que les enseignants souhaitent que les élèves aient appris ainsi que sur leurs conceptions préalables.

### 4. Les conceptions des enseignants sur l'enseignement et l'apprentissage :

- mise en évidence des réponses fournies par les élèves ;
- proposition de questions et de problèmes permettant de révéler les idées spontanées des élèves ;
- interprétation des réponses erronées d'élèves comme étant l'expression de façons de voir et de comprendre différemment ;
- reconnaissance des ressemblances entre leurs propres doutes et ceux de leurs élèves ;
- proposition d'activités ayant pour objectifs de modifier certains aspects bien précis de la conception des élèves ;

- nécessité de commenter les comportements inadéquats des élèves (et donc de tenir compte de leurs idées) ;
- reconnaissance des échecs des activités traditionnelles et introduction de modifications qui les rendent plus efficaces ;
- reconnaissance que de petites modifications concrètes dans le comportement des élèves peuvent être un indicateur de progrès dans l'apprentissage ;
- identification de questions spécifiques relatives à la motivation des élèves ;
- proposition d'activités susceptibles de provoquer l'apprentissage des élèves ;
- augmentation des questions et des doutes relatifs à leur propre activité d'enseignant.

**ARSAC G., CHEVALLARD Y., MARTINAND J.-L., TIBERGHEN A. (Eds) (1994). *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble, La Pensée Sauvage, 180 p.**

Quel didacticien des sciences et des mathématiques ne se souvient pas de *La transposition didactique* publié par Y. Chevallard en 1985 ? Depuis dix ans, la transposition didactique a poursuivi son chemin : elle a été confrontée à d'autres domaines que les mathématiques et à d'autres situations que l'enseignement traditionnel.

L'enjeu de l'ouvrage dont il est question ici est théorique. Les cinq études qui y sont présentées permettent d'approfondir la notion de transposition didactique, d'examiner les relations entre la théorie de la transposition et la notion de pratique sociale de référence.

D'un point de vue didactique, il est intéressant d'étudier les conditions d'évolution d'un objet de savoir. C'est l'objet du premier texte. L'auteur y analyse, pour la période allant de 1902 à 1980, les programmes et instructions ministérielles, des manuels d'enseignement et des articles du *Bulletin de l'Union des Physiciens* à propos des circuits électriques.

À partir de cette analyse, il montre notamment que l'introduction d'une notion est défendue ou attaquée non pas à partir d'arguments basés sur les modes de raisonnement des élèves mais plutôt sur la logique interne, sur le caractère plus ou moins expérimental, plus ou moins concret du contenu ou sur l'existence d'un trop grand écart entre le discours moyen de la science savante et l'objet d'enseignement.

La «théorie classique» de la transposition didactique considère la notion de savoir savant de référence comme centrale. Que se passe-t-il lorsque ce savoir semble absent alors que seules les pratiques existent ? Cette question est abordée dans la deuxième étude, portant sur la modélisation d'un savoir de référence

et sa transposition didactique dans la formation de professionnels de haut niveau (officiers sapeurs-pompiers).

La construction d'un savoir de référence est décrite comme partant de l'analyse de classes de problèmes et de modes de résolution appropriés (modes de raisonnement tactique). Cette étude aborde également l'analyse du passage du corps de savoir de référence au savoir enseigné et présente enfin une description des situations didactiques de simulations, non seulement du réel (exemple : feu de forêt) mais aussi de la tâche elle-même.

Dans la pratique de la classe, il n'est pas habituel de se référer à des pratiques sociales extérieures à l'école. Dans une perspective d'utilisation des concepts de didactique en dehors de la «noosphère», il est intéressant de s'interroger sur les liens qui peuvent être établis avec des pratiques sociales en partant non pas de celles-ci mais des activités scolaires. C'est ce qui est développé dans la troisième étude à propos des programmes de mécanique.

Les auteurs décrivent les aspects du savoir scolaire (éléments théoriques et modèles empruntés aux programmes scolaires de mécanique) et les conditions dans lesquelles ceux-ci ont été utilisés pour produire des données susceptibles d'intéresser des gens extérieurs à l'école, en l'occurrence une société de terrains de sport synthétiques. Ils formulent ensuite les éléments à rajouter aux contenus des programmes pour pouvoir répondre à un contrat extérieur à l'école (caractérisation de sols synthétiques par des mesures de rebonds de balles). Ils proposent enfin une série de questions à se poser pour qui veut comparer activités scolaires et pratiques techniques.

Le quatrième article étudie l'introduction en classe de nouveaux contenus en physique (énergie, modèles particuliers et circuits électriques). Il présente une analyse des problèmes de légitimation d'un contenu

d'enseignement en examinant principalement le rapport demande sociale – savoir physique et la légitimité par rapport au savoir savant. Les auteurs abordent également l'écart du savoir enseigné par rapport aux références qui le légitiment (savoir savant) : distance liée aux choix épistémologiques et à la prise en compte des recherches sur le fonctionnement des connaissances des élèves.

Le cinquième article propose enfin une mise au point concernant la théorie de la transposition : comment peut-on problématiser le réel didactique lorsque l'on parle de transposition didactique ? Et qu'est-ce qui doit être transposé ou, en d'autres termes, qu'entend-on par «savoirs» à transposer ?

Pour problématiser le réel didactique, l'auteur utilise la métaphore écologique qu'il nomme «écologie didactique des savoirs». Il montre, à partir d'exemples empruntés aux mathématiques, l'influence du changement «d'habitat» des savoirs (de l'habitat «laïc» à l'habitat «enseignement secondaire») sur la modification de la «niche», c'est-à-dire de la fonction de ceux-ci. Dans le cas de l'habitat «laïc», les savoirs sont construits pour résoudre des problèmes ; dans le cas de l'habitat «enseignement secondaire», les savoirs servent la réalisation d'un projet social formulé hors de l'école.

Mais de quoi sont composés ces savoirs à transposer ? Jusqu'à présent, dans les textes concernant la transposition didactique, le savoir était considéré comme un tout. L'auteur attire l'attention sur le fait qu'on ne parle jamais de savoir que par métonymie : «*le savoir désigne un tout qui inclut aussi domaine de réalité et pratique sociale. Ce qui doit être transposé est une «trinité» : domaine de réalité, pratique sociale, savoir, dont l'ensemble ne peut exister si l'un quelconque de ses éléments se perd.*

On comprendra aisément certaines difficultés de la transposition liées à cette représentation des savoirs : quels domaines de réalité et quelles pratiques vivant en quelle institution, transposer ? Comment reconstituer dans la classe le domaine de réalité choisi ? (par exemple, comment introduire en classe un domaine de réalité du physicien, du chimiste, du biologiste ?)

À la lecture de cet ouvrage intitulé «la transposition didactique à l'épreuve» (d'autres disciplines que les mathématiques et d'autres situations que la situation scolaire), le lecteur pouvait s'attendre à une mise au point théorique s'appuyant sur les différentes mises à l'épreuve présentées précédemment. Je regrette donc que le dernier texte ne s'articule pas de façon plus explicite aux quatre premiers. Par ailleurs, le biologiste peut se demander ce que devient la transposition didactique à l'épreuve de la biologie !

Cet ouvrage s'adressant principalement aux chercheurs en didactique et aux formateurs d'enseignants m'a beaucoup intéressée notamment parce qu'il m'a permis de mettre en évidence l'évolution d'un objet de savoir, la transposition didactique, et de me représenter le travail à réaliser pour le transformer en objet d'enseignement dans la formation des enseignants et de chercheurs en didactique.

C. de Bueger-Vander Borcht

---

**CHAUVET F. (1994). *Construction d'une compréhension de la couleur intégrant sciences, techniques et perception : principes d'élaboration et évaluation d'une séquence d'enseignement.* Thèse, Université Paris 7, LDPEs.**

---

Dans l'enseignement traditionnel des sciences physiques au lycée, la notion de couleur est associée principalement à la notion abstraite de longueur d'onde, et le rôle de l'œil ainsi que le fonctionnement de la vision ne sont guère pris en compte. Les manuels scolaires analysés par F. Chauvet n'abordent ni les différentes techniques de production de couleur, ni les situations de couleur les plus fréquentes de la vie courante. Ce constat, associé à la nécessité pour F. Chauvet de bâtir un enseignement scientifique motivant, pour des étudiants d'art appliqué ayant besoin dans leur vie professionnelle de maîtriser les différents problèmes liés à la production d'espaces colorés, ont conduit celle-ci à élaborer une séquence d'enseignement intégrant les aspects scientifiques

fondamentaux, les techniques ainsi que les phénomènes de perception, et à mettre au point une méthode de validation de cet enseignement par rapport à son public d'étudiants.

Dans une première partie, F. Chauvet caractérise ses élèves (formation préliminaire, connaissances et modes de raisonnement avant le début du programme d'enseignement) à l'aide d'un questionnaire portant sur les connaissances déjà acquises (définitions des couleurs, procédés de création, couleurs de l'arc-en-ciel, addition de lumières, etc.), ainsi que sur l'analyse de situations expérimentales de composition de couleurs à l'aide de lumières colorées. Cette expérimentation permet de mettre en évidence les obstacles créés par l'identification forte entre couleurs et matières colorantes chez les étudiants.

La phase suivante consiste à élaborer une séquence d'enseignement sur la couleur. Ses objectifs sont clairement énoncés : il s'agit de « *tisser un ensemble cohérent et accessible* » de connaissances recouvrant les trois domaines : science fondamentale (physique et chimie), vision et perception, et applications techniques. Elle s'appuie sur un dispositif expérimental de mélanges de lumières colorées, dispositif simple et facilement reproductible pour des travaux expérimentaux d'élèves : synthèse additive de lumière rouge et verte comparée au résultat obtenu par mélange de peintures ; notion de soustraction dans le phénomène « d'ombres colorées » et dans l'absorption des matériaux ; application des concepts de combinaisons de lumières colorées aux phénomènes plus complexes de couleurs d'objets, éclairés en lumières colorées.

L'étude de l'adéquation entre les objectifs d'acquisition de connaissances et d'attitudes par les étudiants et le résultat de la séquence d'enseignement mise au point fait l'objet de la troisième partie du travail de F. Chauvet. Une méthodologie générale de tests est utilisée sous forme de questionnaires pratiqués avant et après enseignement. Cette étude montre que les deux expériences utilisées pour développer la séquence d'enseignement permettent d'atteindre les objectifs fixés ; mais des obstacles en matière de

compréhension subsistent fortement, notamment dans l'interprétation de la lumière diffusée par les objets colorés.

La dernière partie concerne la mise au point et l'utilisation d'un outil d'évaluation du travail effectué. Il s'agit surtout d'évaluer l'intégration globale des connaissances qui était l'objectif fixé, et non l'acquisition spécifique de connaissances ponctuelles. À l'aide d'un ensemble diversifié de questions caractérisant des connaissances ponctuelles (de physique, techniques ou de perception), ou nécessitant une analyse en terme de chaîne (mise en jeu d'un ensemble de concepts), F. Chauvet met en évidence des profils conceptuels d'étudiants, l'un de type physicien, l'autre de type technique.

Ce travail rigoureux, tant du point de vue de l'enseignement de la physique que du point de vue méthodologie de la recherche en didactique des sciences, est à recommander aux enseignants de physique pour les solutions concrètes qu'il apporte (technique expérimentale, protocole d'enseignement), et aux chercheurs en didactique des sciences pour sa méthodologie et ses résultats concernant une certaine typologie d'élèves.

M. Boyer

Comment améliorer l'enseignement de sciences physiques sur la couleur pour de futurs techniciens et techniciens supérieurs non scientifiques ? Plus précisément, comment mieux « intégrer », ou plutôt « articuler » les aspects de la production et de la vision des couleurs habituellement « désarticulés » entre physique, physiologie de la perception et connaissance des procédés techniques ? Tel est le problème auquel F. Chauvet veut donner une solution plus pertinente et efficace sous forme d'une séquence d'enseignement.

Dans une introduction assez courte, F. Chauvet donne quelques rappels chronologiques sur le traitement de la couleur par la physique et la physiologie, ainsi que sur le développement des techniques jusqu'aux images vidéo de synthèse ; elle donne quelques résultats d'études, assez

rare d'ailleurs, sur la compréhension des mécanismes de la vision, y compris pour la couleur ; elle montre enfin, par quelques sondages dans le contenu des manuels, l'urgence de modifier l'enseignement : il importe, dit-elle, de «*présenter la couleur comme une «réponse perceptive à la lumière», tout en associant cette réponse à la composition spectrale*».

Le premier chapitre du mémoire, intitulé «enquête préliminaire : les étudiants d'arts appliqués et la couleur», présente les résultats d'un questionnaire et d'entretiens ; les étudiants y manifestent des connaissances sur les techniques de la couleur et quelques «souvenirs de physique». La difficulté essentielle pour la compréhension future vient d'une double «adhérence» : couleur-matière colorante d'une part (pratique de la peinture), et couleur-longueur d'onde (enseignement de physique) d'autre part. La synthèse soustractive est mieux dominée que la synthèse additive, qui suppose la prise en compte de la réponse perceptive (œil et cerveau).

Dans le second chapitre, F. Chauvet argumente et justifie l'architecture de la séquence d'enseignement qui sera mise à l'épreuve :

- 1) déstabilisation des conceptions sur les couleurs
- 2) notion de «soustraction» des couleurs
- 3) analyse de phénomènes plus complexes.

L'idée de «chaîne» (source de lumière – matière éventuelle – œil – cerveau) doit servir de support à un raisonnement utilisant des concepts bien définis, qui devraient se substituer aux associations et règles simplistes mises en évidence précédemment.

Le «carnet de notes» que constitue le troisième chapitre est un relevé commenté des traces d'activités d'élèves, et des observations que F. Chauvet a faites en conduisant elle-même les essais en classe. Elle vise à valider ses options d'enseignement en montrant l'impact de celui-ci pour déstabiliser d'anciennes ou construire de nouvelles conceptions avec des appuis et des incitations forts (par exemple : lutter contre la fausse règle «*la couleur du décor et celle de la lumière s'ajoutent*»).

Le quatrième chapitre est une évaluation finale des acquis des élèves par questionnaire. L'évaluation «interne» (comparaison avant-après pour les élèves de l'essai) montre des progrès notables sur les objectifs de la séquence : rectifications de conceptions élémentaires inexactes et organisation des raisonnements selon la «chaîne». L'évaluation «externe» vise à comparer les résultats après enseignement de la séquence (groupe de plasticiens) ou après des enseignements plus habituels (STS architecture intérieure – diplôme métiers d'art) ; il s'agit de montrer que la séquence expérimentale permet au moins d'égaliser les meilleurs résultats partiels d'autres enseignements plus «polarisés» vers les aspects techniques ou perceptifs.

Enfin une «*synthèse vers la définition d'un profil conceptuel*» reprend les données de l'évaluation précédente pour construire, en sélectionnant des questions et des réponses particulièrement différenciatrices selon les enseignements suivis, des profils tendancielles («physiciens»/«techniciens»/«perception») à valeur synthétique et peut-être prédictive (par exemple pour l'utilisation de l'idée de chaîne).

Au total, le travail de F. Chauvet fait sur le thème qu'elle a délimité un «tour de la question» informé et convaincant. Plus précisément, il développe avec rigueur un projet de curriculum (choix de contenus, modes d'activité didactique) pour concevoir, essayer et évaluer un enseignement rénové. Elle aurait peut-être pu aller encore plus loin, en réfléchissant à un curriculum plus ouvert aux points de vue anthropologiques sur la couleur. Mais c'est déjà un bon exemple de prise en compte équilibrée des exigences scientifiques et techniques pour apporter des réponses rationnelles à des formations de techniciens, même si certains pourront regretter que le «point de vue technique» n'ait pas un statut comparable au «point de vue scientifique». C'est enfin une contribution originale à l'étude de l'éducation scientifique dans un domaine où la physique seule est trop réductrice pour fonder une formation pertinente : en effet, la voie habituelle vers l'objectivité, par la mesure et la recherche de relations entre grandeurs, est ici en défaut face à des phénomènes pourtant très communs dans la nature et la technique.

J.-L. Martinand

**DARLEY B. (1994).** *L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux pratiques de biologie à l'université. Analyses et propositions.* Thèse, Université Grenoble 1.

Cette thèse s'inscrit dans un domaine relativement peu développé en France qui est celui de la recherche en didactique de la biologie dans l'enseignement supérieur, et à ce titre il est déjà le bienvenu. Son originalité tient également à la triple approche épistémologique qui le fonde. Cette thèse prend en compte en effet :

- les représentations de la science et de la démarche expérimentale des enseignants,
- l'évolution et la construction d'un concept-clé en neurobiologie qui est celui de *potentiel d'action*,
- l'influence du dispositif pédagogique sur les conceptions que les étudiants se construisent après les travaux pratiques d'électrophysiologie.

Cette approche assez vaste est au service d'une problématique claire et explicite : la forme de l'enseignement d'un concept scientifique (le potentiel d'action) dans le cadre des travaux pratiques (TP) est-elle en cohérence ou non avec le fond, c'est-à-dire le caractère scientifique de ce type de connaissance ? Si non, quelles seraient les conditions à réunir pour que les TP de biologie, qui ont traditionnellement pour rôle d'illustrer le cours, constituent une véritable situation-problème dont la résolution amènerait l'étudiant à se familiariser avec les attitudes de la démarche scientifique tout en s'appropriant le concept en question ?

L'analyse de 64 protocoles de TP montre que, cantonnés à un rôle de support pour les cours, aucun protocole sauf un, ne fait référence explicitement à une question-problème ou à une quelconque hypothèse à vérifier. Même si je n'en partage pas toutes les propositions, l'étude historique et épistémologique de la démarche scientifique effectuée me paraît tout à fait pertinente et montre, entre autres, qu'un des moteurs importants de l'évolution de la pensée scientifique réside justement dans un

questionnement initial, ce qui réduit le rôle attribué trop souvent aux processus inductifs. L'analyse des représentations qu'ont les enseignants de biologie de la science témoigne en effet d'une «*épistémologie majoritairement inductiviste*» selon laquelle le concept serait directement et spontanément accessible au travers de l'objet censé l'illustrer, l'accent étant mis dans ce cas surtout sur la description et mieux sur la mesure du phénomène par les étudiants et non sur sa modélisation. La motivation principale des étudiants se porte alors sur la recherche de la «bonne» description ou de la «bonne» mesure, celle attendue par les enseignants.

Se pose alors la question suivante : où et quand l'enseignement scientifique universitaire de biologie propose-t-il aux étudiants une véritable initiation à la démarche scientifique, mobilisatrice de leurs capacités à poser et à résoudre des problèmes et à soumettre cette activité aux débats entre pairs ? Pourquoi ce rôle ne pourrait-il pas être dévolu aux travaux pratiques dans un premier temps ? Afin d'en étudier la faisabilité, B. Darley, après avoir décrit, de façon documentée et intéressante, le développement par la communauté scientifique du concept de potentiel d'action, analyse et applique la procédure de la «transposition didactique», déjà modélisée à l'intérieur d'autres disciplines, pour concevoir des travaux pratiques et dirigés qui viseraient l'acquisition des attitudes de la démarche scientifique tout autant que le concept de potentiel d'action. Comme le montre B. Darley, de tels travaux pratiques sont réalisables même dans un contexte institutionnel contraignant. En effet, l'analyse des modèles produits par les étudiants de DEUG B concernés par ces TP alternatifs suggère fortement que la plupart d'entre eux ont la capacité pour fonctionner de manière intellectuellement plus active et que beaucoup sont prêts à s'investir dans cette façon de participer à la construction de leur connaissance. De cette expérimentation pédagogique, on peut faire l'hypothèse que l'apprentissage que les étudiants font ici des attitudes spécifiques de la démarche scientifique est transférable et utile pour participer à l'évolution rapide que connaissent à notre époque les sciences et les techniques. Sur le plan cognitif, il semble qu'une



représentation du concept de potentiel d'action avec un domaine de validité mieux reconnu soit acquise, encore faudra-t-il, comme le propose B. Darley en prolongement à sa thèse, tester dans la durée et dans sa complexité ce que signifie s'approprier ce concept.

En conclusion et par rapport au fond, ce mémoire me paraît constituer une thèse d'un bon niveau tant par celui des synthèses épistémologiques qu'il propose que par la manière dont cette recherche a été organisée. Ne pourrait-on pas, peut-être en l'allégeant, s'en servir comme guide pour mieux repérer dans un enseignement scientifique universitaire les concepts importants et leurs limites, les moments favorables à des débats socio-cognitifs, les représentations sous-jacentes de la science et de l'enseignement, et pour dégager des indicateurs pertinents d'évaluation non uniquement basés sur la conformité avec des observations ou des mesures préalables plus ou moins arbitrairement présentées ? Cela devrait permettre d'introduire dans l'enseignement scientifique plus de cohérence entre le fond : la communication de modèles approximatifs et provisoires de la réalité et la forme afin que, moins dogmatique, celle-ci ne gêne plus l'acquisition par les étudiants des attitudes cognitives qui ont permis aux chercheurs d'inventer et de perfectionner ces modèles.

Enfin, quant à la présentation de ce mémoire, en dehors d'un morcellement en paragraphes dont le nombre m'a paru quelquefois excessif, j'ai beaucoup apprécié la qualité de l'écriture de B. Darley, sa clarté et la rigueur avec laquelle il conduisait sa pensée.

D. Favre

---

**SIMONNEAUX L. (1995). *Approche didactique et muséologique des biotechnologies de la reproduction bovine*. Thèse, Université Lyon 1.**

---

La thèse de L. Simonneaux porte sur la conception et l'évaluation d'éléments de préfiguration, en l'occurrence des panneaux scripto-visuels, d'une exposition présentant

une série de biotechnologies de reproduction bovine (introduction p. 1). Cette thèse arrive à point nommé. Axée sur l'utilisation à des fins didactiques et formatrices, elle jette les fondements d'une pédagogie muséale qui apparaît trop souvent comme une façon de perpétuer une tradition axée sur la parole du maître. C'est dans cette perspective qu'il faut replacer cette recherche.

La thèse de L. Simonneaux se divise en cinq chapitres d'inégale longueur.

Dans le premier chapitre, l'auteure situe la discipline de la zootechnie dans le corpus des autres disciplines, s'interroge sur l'exposition au titre de lieu d'éducation informelle, sur les sondages d'opinion relatifs aux biotechnologies, sur la vulgarisation et sur les catégories de public observés.

Le deuxième chapitre se rapporte à la description du cadre théorique. L'auteure présente le paradigme de Boltanski et Thévenot ayant trait à l'économie des grandeurs. Elle discute du concept de transposition didactique à la lumière des théories de Chevallard et Johsua, puis expose quelques considérations relatives à l'évaluation muséologique.

Enfin, l'auteure résume son fort complexe protocole de recherche. En plus des problèmes d'ordre épistémologique découlant de la nature même de la recherche, la présence de deux variables, à savoir le public, divisé en trois catégories, et des panneaux conçus par l'auteure en deux versions complexifie toutes les étapes.

Dans le chapitre trois, l'auteure décrit l'évaluation préalable conduite afin de découvrir les conceptions ayant cours chez différentes catégories de public potentiel. À cet effet, elle a utilisé des méthodes fort variées de cueillette des données : l'entretien semi-directif conduit avec le public familial du secteur agricole, le questionnaire administré aux élèves du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche et aux enseignants de zootechnie.

Chez le public familial (personnel d'enseignement agricole), l'auteure a retrouvé des écarts entre leurs connaissances et les connaissances scientifiques actuelles. Les conceptions du public familial sur les biotechnologies de la reproduction bovine

sont favorables vis-à-vis des domaines professionnel, économique et scientifique mais défavorables vis-à-vis des domaines éthique, écologique et juridique (p. 78). Les connaissances biologiques des élèves se révèlent non mémorisées et leurs conceptions sont favorables dans le domaine de la zootechnie et défavorables dans ceux de l'économie, de l'écologie, de l'éthique et du juridique. Enfin, les enseignants dénotent des connaissances justes et actualisées et des conceptions plutôt favorables dans les domaines de la zootechnie et de l'écologie, mais défavorables dans ceux de l'économie et de l'éthique. Bref, les connaissances varient fortement d'un groupe à l'autre. Quant aux conceptions, elles apparaissent plutôt homogènes selon les domaines. N'est-ce pas le signe d'un substrat culturel commun ?

Le chapitre quatrième a pour objet la transposition didactique des connaissances relatives aux biotechnologies de la reproduction bovine. Après avoir préalablement discuté des obstacles épistémologiques, L. Simonneaux explique le contenu des deux versions des panneaux de l'exposition. Ces panneaux, conçus par l'auteur, présentent les mêmes illustrations et sont identiques quant à la mise en espace. Toutefois, des sous-titres et des intertitres sont ajoutés dans la version dite enrichie.

Enfin, le chapitre cinquième est consacré à l'évaluation elle-même. L'auteur a voulu, en utilisant la méthode dite quasi expérimentale, vérifier l'évolution des connaissances et les modifications des opinions. Notons que la faiblesse de l'échantillon a pu influencer les résultats. Dans l'ordre des connaissances, l'évolution apparaît plutôt faible quelles que soient les catégories de public et ce, quel que soit le type de panneaux. L'auteur souligne que «*c'est l'échantillon de haut niveau de certification dont les pré-requis étaient faibles qui a mémorisé le plus de connaissances*» (p. 296). Ou encore que «*la familiarité avec le thème semble en corrélation chez les élèves de l'enseignement agricole, avec une certaine résistance vis-à-vis d'un processus d'acculturation*» (ibidem). Dans l'ordre des opinions, l'auteur n'a pu induire de modification (p. 297). On pourrait s'interroger sur la valeur formatrice de l'exposition à titre de moyen d'enseignement et de stratégie d'apprentissage.

En conclusion, L. Simonneaux reprend, sous forme de tableau, les différentes étapes de la transposition didactique telles qu'elles ont été suivies et formule quelques considérations sur la formation des enseignants. Enfin, elle discute de la complexité de la transposition didactique dans le cadre d'une exposition scientifique.

En somme, nous devons souligner l'excellence de la thèse de L. Simonneaux. Nul doute qu'elle contribuera à faire avancer les connaissances en didactique des sciences ainsi qu'en muséologie, discipline relativement jeune. Les enseignants désireux de sortir des sentiers battus auront intérêt à la lire.

M. Allard

---

**VAN TILBEURGH V. (1994). *L'huître, le biologiste et l'ostréiculteur. Lectures entrecroisées d'un milieu naturel*. Paris, L'Harmattan, 248 p.**

---

Cet ouvrage qui est la publication d'une thèse en sociologie de la connaissance nous fait appréhender l'histoire, les pratiques, les normes, les contraintes et les relations au sein du monde de l'ostréiculture en Bretagne.

L'auteur s'attache à comprendre pourquoi les mesures sanitaires préconisées par les biologistes de l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) pour enrayer l'épizootie qui touche les bassins d'huîtres, ne sont pas comprises, ni appliquées par les ostréiculteurs. Pour cela elle a effectué une analyse des connaissances scientifiques, économiques, techniques, de l'huître et son environnement, construites par les différents groupes sociaux travaillant sur l'huître en fonction de leur projet.

Dans une première partie l'auteur décrit trois grands types d'entreprises. Elle met en particulier en relation le rôle de l'entreprise dans la famille, la taille et les stratégies de production, le parcours personnel des chefs d'entreprise et la compréhension des théories élaborées par l'IFREMER. Elle

montre que le discours des ostréiculteurs à l'égard des théories des biologistes n'est pas homogène : en effet, *«il a pu être noté, schématiquement, que plus l'exploitation était importante, plus son dirigeant avait tendance à soutenir la théorie de la surexploitation des bassins ostréicoles telle qu'elle fut exposée par les écologues de l'IFREMER»*.

Dans une seconde partie l'auteur effectue une analyse des connaissances des biologistes et une confrontation avec celles des ostréiculteurs. Du point de vue du fonctionnement des connaissances, elle montre comment un problème posé par les ostréiculteurs devient objet de connaissance pour les scientifiques, sans que les résultats des recherches ne soient «rendus» aux ostréiculteurs. Les connaissances des scientifiques cherchent et trouvent leur légitimité auprès de la communauté scientifique, car leur finalité est de produire des modèles suffisamment théoriques pour qu'ils soient généralisables et exploitables au niveau d'autres régions ostréicoles. On comprend ainsi très bien pourquoi les deux systèmes de connaissances peuvent être totalement disjoints, et cela explique leur absence de reconnaissance réciproque. Au-delà des raisons structurelles, il existe des obstacles en relation avec la nature même des savoirs : les notions de statistiques, les échelles de temps et d'espace liées à l'approche systémique des scientifiques, la notion de facteurs de risque, l'idée que la présence de microbes peut être indicateur

de pollution et pas forcément de pathologie, sont des concepts à la base des théories et des conseils explicités par les scientifiques ; ils sont complexes et difficiles à appréhender par les ostréiculteurs qui sont plus sensibles à un raisonnement causal et parcellaire.

Dans la troisième partie l'auteur reprend les différents résultats et aboutit à la construction d'une grille de lecture théorique renvoyant au champ de la sociologie de la connaissance.

Cet ouvrage s'adresse à toute personne qui s'intéresse aux savoirs pratiques et à l'articulation des savoirs entre scientifiques et professionnels. L'originalité de ce travail tient à la mise en relation de paramètres sociaux, institutionnels et cognitifs, et les résultats qui en découlent sur la légitimité des savoirs peuvent s'appliquer à beaucoup d'autres institutions et d'autres corps professionnels. On peut regretter l'absence d'analyse du discours institutionnel de l'IFREMER sur la diffusion scientifique ; la seule analyse de discours individuel a parfois du mal à convaincre. On peut aussi déplorer l'absence d'indication sur la méthodologie d'analyse utilisée, qui pourrait rendre plus objectifs certains résultats. Cette analyse fine et très riche des savoirs et de leurs finalités ouvre de nouvelles voies d'études concernant l'épistémologie, la sociologie des sciences et des savoirs pratiques et professionnels.

P. Marzin