

La nouvelle du décès de Jacques Besançon nous a beaucoup touchés. Toute l'équipe française qui travaille dans la revue *Didaskalia* tient à lui exprimer sa profonde reconnaissance. Nos partenaires québécois ont eu une grande influence dans la naissance de cette revue, et en particulier Jacques Besançon, qui a su faire naître des collaborations et trouver les aides et subventions indispensables à la parution de cette revue.

Nous voudrions aussi témoigner de sa grande lucidité et du courage qu'il a manifestés quand il a appris sa maladie. Alors qu'il venait de connaître brutalement l'extrême gravité de son état, il a eu l'énergie de rechercher des collègues susceptibles de poursuivre sa contribution à la revue *Didaskalia*. Ce témoignage de son engagement au-delà de sa personne a provoqué notre admiration.

Nous souhaitons pouvoir continuer cette œuvre à laquelle il a si largement contribué.

Martine Méheut, rédactrice en chef
Éliane Orlandi, Marcel Courbon, secrétaires de rédaction
Andrée Tiberghien, co-présidente

Louise Guilbert a accepté, à la demande de Jacques Besançon, d'être co-présidente du comité scientifique. Nous l'en remercions et nous lui laissons la parole.

Hommage à Jacques Besançon

Notre cher collègue, notre ami, Jacques Besançon est décédé le 19 juin 1996, quelques jours avant son anniversaire de naissance le 29 juin. Il savait depuis peu de temps qu'il avait un cancer. Il a eu à peine le temps de réaliser ce qui lui arrivait mais, malgré tout, il a continué à collaborer avec ses collègues jusqu'à la fin pour les aider à poursuivre ses projets.

Son travail représentait une grande partie de sa vie. Il se dévouait corps et âme pour ses étudiants en didactique de l'enseignement professionnel ou en recherche. Il était d'ailleurs directeur des études supérieures en didactique (maîtrise et doctorat) depuis quelques années et il a su insuffler un renouveau à tous les niveaux. Jacques a toujours été un homme capable de se battre pour des idées, contrairement à beaucoup d'autres qui laissent tomber leurs convictions face aux vents contraires. Il a pris à cœur le dossier des études supérieures à la Faculté des Sciences de l'Éducation et y a consacré beaucoup de temps et d'efforts. Il s'est parfois dressé envers et contre tous car il croyait en certaines valeurs et avait le courage d'aller au bout de ses idées.

La revue *Didaskalia* est en grande partie son œuvre. Avec ses collègues d'ici et d'ailleurs, il a mis sur pied une revue scientifique francophone d'envergure internationale sur l'enseignement des sciences et des techniques. Il a collaboré intensément pendant de nombreux mois à mettre au monde cette revue et surtout à la faire grandir. N'importe qui aurait reculé devant l'ampleur administrative des demandes de subvention et des écueils par rapport aux distances et aux cultures, mais lui a su tenir le cap.

Notre passage sur terre nous semble parfois bien court mais nous espérons y laisser une trace. Quant à Jacques, il a su le réaliser ; nous croyons qu'il a imprégné l'esprit de ses étudiants et des collègues qu'il a côtoyés. Nous nous souviendrons de lui comme d'un homme de conviction, un homme de cœur toujours prêt à accomplir sa mission, un homme pour qui tout ce qui méritait d'être fait méritait d'être bien fait, un homme qui se dépensait sans compter.

Jacques, tu nous laisses avec un héritage intellectuel que nous tenterons de perpétuer selon tes désirs, avec ténacité et ce, en nous inspirant de ton courage. Merci Jacques !

Au revoir cher collègue, cher ami.

Tes collègues

Louise Guilbert

Investigations des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance

Robin MILLAR

Department of Educational Studies
University of York
Heslington
York YO1 5DD, Grande-Bretagne.

(Traduit par Martine Méheut, Andrée Tiberghien et Laurence Viennot)

Résumé

Beaucoup s'accordent à penser que l'enseignement des sciences devrait parvenir à ce que les élèves comprennent ce qu'est l'approche scientifique de la recherche. L'analyse de tâches d'investigation scientifique typique met en évidence le large spectre des différents aspects de la compréhension requis pour réussir de telles tâches. Un modèle mettant en relation cette compréhension avec des performances, développé dans le cadre du projet «Connaissances conceptuelles et procédurales en sciences» (PACKS) est décrit brièvement ici. Deux parties de ce modèle, concernant le «cadre» d'investigation choisi par les élèves ainsi que leur manière de collecter et d'utiliser des données comme preuve, sont explorées dans le contexte d'une investigation sur l'isolation thermique. Dans cet article, la discussion montre la nécessité pour l'enseignement scientifique de faire évoluer les élèves d'une perception de l'investigation comme «recherche personnelle» vers celle d'une «recherche publique», où la preuve sur laquelle est fondée la conclusion est explicitée. Il apparaît également qu'un modèle de la performance en science fondé sur la connaissance constitue une meilleure base pour l'enseignement, la planification de curriculum et la recherche que les modèles fondés sur les habiletés.

Mots clés : *investigation, travaux pratiques, preuve, conceptions des élèves.*

Abstract

It is widely agreed that one outcome of school science should be an understanding, amongst students, of the scientific approach to enquiry. Analysis of typical science investigation tasks shows the wide range of understandings required to carry out such tasks successfully. A model linking aspects of understanding to elements of performance developed by the Procedural and Conceptual Knowledge in Science (PACKS) project is briefly described. Two parts of this model, concerned with the investigation «frame» chosen by students and their collection and use of data as evidence, are explored in the context of an investigation of thermal insulation. It is argued that school science needs to do more to move students from a perception of investigation as «personal enquiry» towards «public enquiry», where evidence for conclusions is displayed ; and that a knowledge-based model of science performance provides a better basis than skills-based models for teaching, curriculum planning and research.

Key words : *investigations, practical work, evidence, students' ideas.*

Resumen

Es ampliamente aceptado que uno de los resultados de la enseñanza de las ciencias debería ser que los alumnos comprendan lo que es el enfoque científico de la investigación. El análisis de tareas de la investigación científica típica pone en evidencia, el largo espectro de conocimientos personales requeridos para aprobar tales tareas. Un modelo, que ponga en relación esta comprensión con unas cualidades, desarrollado en el marco del proyecto «Conocimientos conceptuales y procedimentales en ciencias» (PACKS), es descrito brevemente. Dos partes de este modelo concernientes al «marco» de investigación seleccionado por los alumnos, así como su manera de coleccionar y de utilizar los datos como prueba, son explorados en el contexto de una investigación sobre la aislación térmica. En este artículo, la discusión muestra la necesidad de que la enseñanza científica pueda hacer evolucionar los alumnos, de una percepción de investigación como «investigación personal», hacia aquella de una «investigación pública», donde la prueba sobre la cual es fundada la conclusión es explicitada. Igualmente aparece que un modelo de la cualidad en ciencias fundado sobre el conocimiento, constituye una mejor base para la enseñanza, la planificación de currículum y la investigación que los modelos fundados sobre las habilidades.

Palabras claves : *investigación, prueba, trabajos prácticos, concepciones de alumnos.*

INTRODUCTION

L'apprentissage des sciences a plusieurs dimensions. Il nécessite de s'appropriier le contenu des sciences (les faits, idées, concepts, lois et théories acceptés), la manière dont les connaissances scientifiques se constituent (les méthodes et procédures en jeu dans l'activité de «faire la science»), et les interactions entre science et société. Ces trois éléments sont tous importants, qu'on pense aux sciences dans l'enseignement principalement comme un moyen de promouvoir une meilleure compréhension des sciences dans le public, ou comme la première étape d'une éducation et d'une formation pour la prochaine génération de scientifiques et d'ingénieurs.

Dans cet article, je voudrais me centrer sur la deuxième de ces trois dimensions : apprendre comment «faire la science». Ceci est important pour aider les élèves à apprécier sur quelles bases est fondée la confiance que l'on a dans les lois et théories de la science établie ; en réalisant des travaux pratiques guidés, les élèves sont amenés à voir la preuve sur laquelle s'appuie la compréhension. Il est également important d'aider les élèves à développer leur confiance dans leurs propres capacités à mener des recherches¹, à imaginer des moyens pour tester certaines de leurs propres questions et à jouer un rôle dans le développement de leur propre compréhension du monde naturel.

Au Royaume-Uni, jusqu'à très récemment, la plupart des élèves apprenaient l'activité de recherche² scientifique en réalisant en petits groupes des tâches pratiques à partir de consignes détaillées, et en observant leurs professeurs qui procédaient à des expériences de démonstration. La plupart de ces activités pratiques étaient conçues pour illustrer un aspect de la théorie que les élèves étaient en train d'étudier. Depuis le milieu des années 1980, le curriculum a renforcé l'importance des activités pratiques d'investigation ouverte. Une investigation dans l'enseignement est une tâche pratique où l'approche à suivre pour s'attaquer à une question ou résoudre un problème est ouverte – les élèves peuvent décider ce qu'il observent ou mesurent, ce qu'ils modifient ou manipulent, quel équipement ils utilisent (dans le cadre des ressources disponibles), etc. Le tableau 1 peut être utile dans la mesure où il résume les différences entre une investigation et une tâche pratique standard de laboratoire. Dans le «Curriculum National pour la Science», introduit la première fois en 1989, l'évaluation finale à l'âge de seize ans (la fin de l'enseignement scientifique obligatoire pour tous les élèves) a quatre composantes de même importance : biologie, chimie, physique et investigation pratique (DFEE/WO, 1995).

1. Nous avons traduit ici «*their own capabilities as enquirers*» par «leurs propres capacités à mener des recherches». Ici le mot «recherche» ne doit être pris au sens strict d'une recherche scientifique, mais au sens d'une investigation qui vise à trouver des preuves (NdT).

2. Nous avons ici aussi traduit par «recherche» le terme «*enquiry*» (NdT).

	Tâche pratique «standard»	Investigation
tâche/question	fermée	fermée ou ouverte
méthode	fermée	ouverte
conclusions	ouvertes	ouvertes

Tableau 1 : Types de tâche pratique

Note : «fermé» signifie spécifié par avance par le professeur, «ouvert» signifie que les élèves peuvent faire des choix.

1. RÉALISER UNE INVESTIGATION SCIENTIFIQUE : QU'EST-CE QUE L'ÉLÈVE A BESOIN DE SAVOIR ?

Tandis que les professeurs du Royaume-Uni s'accordent assez largement sur l'idée que les élèves devraient mener des investigations scientifiques, et être évalués sur leur habileté à les réaliser, le rôle prééminent des investigations scientifiques dans le Curriculum National a mis en lumière les difficultés à spécifier la nature de l'apprentissage dans ce domaine et à évaluer les progrès dans les performances des élèves et donc dans leur compréhension. Pour réfléchir sur ces questions, on peut considérer ce qui est en jeu dans une tâche spécifique d'investigation semblable à celle que demandent la plupart des professeurs à leur élèves. Imaginons qu'on demande à un élève d'étudier comment la résistance d'un fil de type donné dépend de sa longueur et de sa section. Qu'a-t-il besoin de savoir pour réaliser cette tâche, de la manière que nous, professeurs de sciences, souhaiterions ? Tout d'abord, il est clair qu'une certaine compréhension du contenu scientifique est nécessaire : l'élève a besoin de connaître ce que signifie une résistance (ce qui, de fait, est en relation avec une connaissance de base plus large sur les circuits électriques) et comment calculer la valeur d'une résistance à partir des mesures d'intensité et de différence de potentiel. Ensuite, il a besoin de savoir comment mesurer une résistance, ce qui suppose de savoir comment réaliser un circuit convenable, où placer l'ampèremètre et le voltmètre pour faire les mesures nécessaires et comment lire ces appareils de mesure. À un niveau plus sophistiqué, il peut avoir besoin de savoir qu'un appareil de mesure peut être placé dans le circuit de plusieurs manières, et que ce choix peut affecter l'exactitude de résultats. Ensuite il a besoin de savoir que, pour étudier l'effet de la longueur sur la résistance, il faut garder constante la surface de section et faire varier la longueur (et vice versa) ; et il a besoin de considérer le nombre de valeurs différentes de longueurs à prendre, quelle étendue elles doivent couvrir et quel intervalle il doit y avoir pour qu'il

puisse conclure de la façon dont il le désire (une comparaison, une tendance ou une relation). Sous-jacente à tout cela, il y a la compréhension mise en jeu dans la modélisation du phénomène en termes de variables et de leur interdépendance : deux variables indépendantes (longueur et section) affectant la valeur d'une variable dépendante (résistance). Ensuite, il doit reconnaître qu'une seule mesure d'une grandeur physique ne peut être considérée comme exacte – toutes les mesures sont sujettes à une erreur expérimentale inévitable, qui peut être plus ou moins grande. L'importance de celle-ci peut être estimée, et ses effets sur les conclusions finales réduits, en répétant chaque mesure plusieurs fois. Il peut être aussi utile de reconnaître la possibilité d'erreur systématique (un appareil de mesure défectueux), et de considérer les manières d'évaluer ou éliminer celle-ci (par exemple, en répétant certaines des mesures avec des appareils différents). La sophistication de la compréhension nécessaire dans ce domaine dépend en partie du type de conclusion que l'élève voudrait tirer. Par exemple, s'il désire simplement conclure qu'un fil long a une plus grande résistance qu'un fil plus court de même section, alors seules sont nécessaires deux mesures de résistance dont la différence entre les valeurs est sensiblement plus grande que la dispersion des mesures répétées. Mais si le but est de conclure que la résistance est proportionnelle à la longueur (plutôt que de conclure juste que la résistance augmente quand la longueur augmente), un traitement beaucoup plus sophistiqué des résultats, avec une prise en compte très soignée de l'erreur, est nécessaire.

Il est instructif de considérer maintenant une autre investigation, de structure très semblable, et de se demander quels aspects de la compréhension d'une investigation sont transférables (en principe au moins) d'un cas à un autre. Imaginons qu'on demande à un élève d'explorer la période d'un pendule en fonction de sa longueur, de la masse du pendule et de l'amplitude d'oscillation. Ceci implique des contenus de connaissance bien différents ; on peut dire en effet que très peu de connaissances conceptuelles, au-delà de celles de la vie quotidienne, sont nécessaires pour réaliser cette tâche. Celle-ci nécessite des capacités motrices différentes pour manipuler le dispositif ainsi que des connaissances sur des appareils de mesure différents. D'un autre côté, une compréhension de la situation en termes de dépendance des variables est aussi importante que dans le cas précédent, comme celle de savoir qu'on ne modifie qu'une variable indépendante à la fois, ou de décider le nombre, l'importance de l'intervalle entre valeurs à utiliser pour chaque variable indépendante. Des «tactiques» spécifiques sont utiles dans cette investigation alors qu'elles n'étaient pas nécessaires dans la première : savoir qu'il vaut mieux mesurer, disons, dix oscillations plutôt qu'une, et qu'il est préférable de démarrer et d'arrêter la mesure du temps quand le pendule est au milieu de l'oscillation – et, naturellement, savoir pourquoi c'est mieux de procéder ainsi. Alors que

l'interprétation des mesures requiert des aspects de la compréhension similaires à ceux relatifs à l'investigation sur la résistance, un aspect rend l'interprétation des résultats plus difficile : il est plus difficile de rassembler de bonnes preuves pour montrer qu'une variable indépendante n'a **pas** d'effet que pour montrer qu'elle en a. Ainsi, dans cet exemple, il est plus difficile de recueillir des données pour justifier l'affirmation que la masse du pendule n'a pas d'effet sur la période, que de montrer que la longueur a un effet. De plus l'effet de l'amplitude d'oscillation, qui est petite, est aussi plus difficile à montrer.

Ces exemples d'investigations spécifiques nous aident à prendre conscience de la diversité des aspects nécessaires à la compréhension que nous exigeons des élèves si nous leur demandons de réaliser des tâches de cette sorte – et que nous pouvons alors avoir à leur enseigner au préalable. Cela nous aide aussi à voir quels aspects de la compréhension peuvent être génériques, applicables à de nombreuses investigations, et lesquels sont spécifiques d'investigations dans un domaine scientifique, ou même à une investigation donnée. Le curriculum national du Royaume-Uni a mis l'accent sur des investigations qui mettent en jeu des interrelations entre variables. Mais si nous élargissons la notion d'«investigation scientifique», alors le type de compréhension nécessaire peut aussi changer.

2. INTERPRÉTATION DE LA PERFORMANCE DES ÉLÈVES DANS DES TÂCHES D'INVESTIGATION SCIENTIFIQUE

Différentes approches ont été utilisées ces dernières années par les enseignants en sciences pour développer et évaluer les capacités des élèves à réaliser une investigation scientifique. L'approche la plus commune a peut-être été de penser la performance en terme d'un ensemble d'«habiletés». L'analyse de Gagné (1965) sur la performance en sciences relative à des processus tels qu'observer, classer, formuler des hypothèses, contrôler des variables... a influencé la conception des curriculums en sciences, aux États-Unis et ailleurs, depuis les années 1960. Un autre cadre de référence est celui proposé par Klopfer (1971), avec des «*comportements*» scientifiques analysés en catégories telles que «*observer et mesurer*», «*voir un problème et chercher la façon de le résoudre*», «*interpréter des données et formuler des généralisations*»... Le modèle psychologique sous-jacent ici est celui de constructions mentales qui donnent lieu à des comportements observables. Cependant, il n'est pas évident que ces constructions soient stables ou bien définies. Par exemple, la performance d'un élève donné est très variable pour des tâches qui sont

considérées comme nécessitant les mêmes «habiletés» (Erickson et al., 1992 ; Lock, 1993). Le contenu et le contexte de la tâche jouent un rôle pour la plupart des variations observées dans les performances (APU, 1987 ; Qualter et al., 1990 ; Gott & Duggan, 1995).

Une alternative à un modèle de performance fondé sur des «habiletés», comme la discussion détaillée des deux exemples spécifiques donnés ci-dessus l'a déjà suggéré, est un modèle fondé sur la compréhension. La performance des élèves sur des tâches d'investigation est vue comme dépendant principalement de ce qu'ils savent et comprennent. Cette approche a été développée et utilisée dans le projet «Connaissances conceptuelles et procédurales en sciences» (*Procedural and Conceptual Knowledge in Science, PACKS*). Dans la suite de cet article, je voudrais donner les grandes lignes du travail mené dans ce projet, et utiliser un petit échantillon des résultats obtenus pour montrer comment un modèle fondé sur la compréhension peut être utilisé comme base pour des recherches sur la capacité des élèves à «faire la science», et pour la conception d'un enseignement qui pourrait développer cette capacité.

3. LE PROJET PACKS

Les buts principaux de ce projet PACKS sont :

- développer un modèle reliant des aspects spécifiques de la performance des enfants dans des tâches d'investigation scientifique aux compréhensions personnelles qui sont sous-jacentes à leurs actions ;
- utiliser ce modèle pour explorer les différences dans les performances des enfants quand ils mènent des investigations scientifiques, en fonction de leur âge et de leur expérience dans la pratique de la science.

La première, et la plus importante phase du projet, concerne des groupes d'enfants se situant à trois niveaux d'âge entre neuf et quatorze ans ; on leur a demandé de réaliser une tâche d'investigation en physique ou en biologie, parmi les sept tâches données dans le tableau 2.

Les groupes ont travaillé dans le cadre d'un enseignement normal de classe. Nous avons demandé à chacun de donner ses attentes et ses prédictions avant de démarrer. Les actions ont été enregistrées en utilisant une grille d'observation et des notes. Un chercheur a demandé aux élèves les raisons de leurs actions, et des entretiens impromptus ont été enregistrés pendant que les groupes travaillaient. Les productions écrites des élèves donnant leurs résultats et leurs conclusions ont été recueillies. Des tests de diagnostic ont été spécialement développés ; ils portent sur les aspects déclaratifs de la compréhension (tests sur les concepts) et sur la capacité

à manipuler des données (tests sur les données). Ces tests ont été utilisés, après l'investigation, pour construire un profil de la compréhension explicite par les élèves des idées clés en jeu dans l'investigation. L'échantillon comportait seize groupes d'élèves à chacun des trois niveaux d'âge pour chaque investigation, soit au total cinq cents élèves (pour plus de détails sur les tâches et les méthodes de recherche, voir Millar et al., 1994).

Crevettes	Trouver si les crevettes préfèrent des conditions de lumière ou d'obscurité, si elles préfèrent être près de la surface de l'eau ou en profondeur.
Boisson fraîche	Trouver comment l'épaisseur des matériaux garnissant un sac isotherme pour boissons fraîches affecte la qualité de ce sac (pour la conservation de la fraîcheur).
Buggy	Trouver comment la vitesse d'un buggy fonctionnant avec une pile dépend du diamètre des roues et du poids du buggy.
Dissolution 1	Trouver la rapidité avec laquelle quatre sucres différents se dissolvent dans de l'eau froide du robinet et les classer de celui qui se dissout le plus vite à celui qui se dissout le moins vite.
Dissolution 2	Trouver comment la température de l'eau affecte le temps que met le sucre à se dissoudre.
Forces 1	Trouver comment le type de surface affecte la force nécessaire pour tirer une brique.
Forces 2	Trouver comment l'angle d'une pente affecte la force nécessaire pour remonter une brique.

Tableau 2 : **Tâches d'investigation utilisées dans le projet PACKS**

Dans la seconde phase du projet, deux tests écrits de diagnostic, conçus pour mettre au jour les idées des enfants sur la mesure et l'interprétation des données, ont été élaborés et administrés à des échantillons représentatifs d'élèves d'habiletés variées ; ces échantillons étaient composés de deux cents élèves de douze ans, deux cents de quatorze ans et cent de seize ans. Le but de cette enquête était d'établir la fréquence des différentes idées sur la mesure et les données identifiées dans la phase 1, en utilisant un échantillon d'élèves plus important au niveau de l'école secondaire (entre onze et seize ans). Les enfants de neuf ans n'ont pas été inclus car les essais pilotes ont montré que la plupart des enfants de cet âge n'étaient pas capables de répondre de manière adéquate aux tests écrits.

Analyse des données

Toutes les données recueillies auprès de chaque groupe d'élèves ont donné lieu à un procès-verbal (*case record*) de la performance du groupe. Un état des stades de performance dans la tâche d'investigation a été élaboré, en incorporant des extraits de la discussion interne au groupe et des entretiens impromptus faits par le chercheur quand c'était possible. À partir du déroulement dans le temps de l'investigation, un résumé des principales étapes et décisions des élèves a été établi. Les réponses aux items du diagnostic ont été codées, en utilisant un code élaboré à partir des réponses des élèves.

4. UN MODÈLE RELIANT COMPRÉHENSION ET PERFORMANCE

Le but principal du projet PACKS était d'élaborer un modèle reliant la compréhension et la performance correspondant à une investigation. Au niveau le plus simple, on pourrait penser que la réponse d'un élève à une tâche d'investigation donnée implique la sélection et l'utilisation d'idées tirées de la mémoire à long terme en réponse aux stimuli de la tâche elle-même. Les idées ainsi sélectionnées conduisent alors à une série d'actions (figure 1).

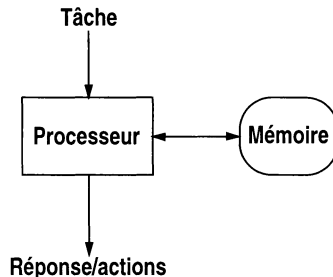


Figure 1 : Un modèle simple de réponse à une tâche d'investigation

Le but devient alors de représenter au mieux les contenus de la boîte «mémoire». Le modèle PACKS a commencé par l'analyse de ce qui est demandé à l'élève dans la tâche, comme cela a été illustré précédemment ; il a été ensuite modifié et étendu à la lumière des observations faites sur les élèves au cours des tâches d'investigation. Dans sa forme finale (figure 2), le modèle essaie de montrer les points pour lesquels quatre aspects différents de la compréhension peuvent influencer les choix spécifiques

faits par les élèves quand ils réalisent une tâche. Le modèle PACKS est donc le résultat d'une analyse *a priori* affinée et modifiée à la lumière des données empiriques. Le côté droit du modèle montre les étapes d'une investigation typique. Celle-ci ne peut bien entendu pas être linéaire, mais peut inclure des boucles entre une étape plus tardive et une étape plus précoce, à la lumière des événements (comme, par exemple, dans le modèle proposé par l'Unité d'Évaluation de la Performance (Assessment of Performance Unit, APU, 1987, p. 24)) ; nous ne les avons pas indiquées ici uniquement par souci de clarté. Le passage d'une étape à l'autre suppose des décisions et des choix implicites ou explicites. Les quatre catégories de compréhension, situées à gauche de la figure, interviennent dans ces décisions et ces choix de différentes manières. Dans le projet PACKS, nous avons choisi de nous centrer sur les compréhensions des boîtes A et D. Dans les paragraphes suivants, j'utiliserai les données extraites d'une investigation pour illustrer celles-ci.

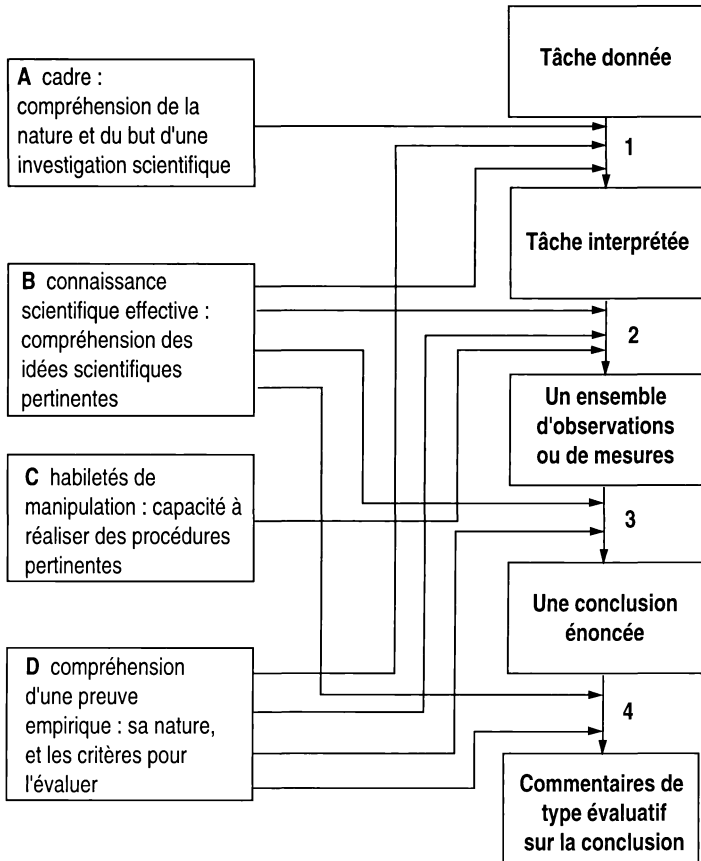


Figure 2 : Le modèle PACKS reliant compréhension et performance dans l'investigation

4.1. Compréhension du but ou de l'objet de la tâche d'investigation (cadre)

Dans le modèle PACKS (figure 2), la boîte A réfère à la compréhension, par les élèves, du but de la tâche d'investigation qu'ils sont en train de réaliser. C'est ce que nous appelons «leur cadre d'investigation». Notre prise de conscience de la signification du «cadre» provient d'abord de notre observation des élèves réalisant des tâches et non de notre analyse initiale. Il est plus facile d'illustrer ce que nous signifions par «cadre» en considérant une tâche spécifique.

Une de nos tâches d'investigation, la tâche *Boisson fraîche*, a pour contexte l'utilisation d'un sac isotherme pour garder fraîche une boisson par temps chaud. On demande aux enfants de «déterminer comment l'épaisseur du matelassage influe sur la qualité du sac isotherme». Pour cette tâche, étaient fournis aux groupes d'enfants une horloge, un thermomètre, et un ensemble de récipients tels que bechers et éprouvettes graduées. Ils disposaient d'une réserve d'eau refroidie par de la glace, mais l'utilisation d'eau du robinet de n'importe quel type n'était pas exclue. Ils avaient également accès à une réserve de trois sortes de matériaux d'emballage courant : molleton, emballage à bulles et mousse. On montrait à chaque groupe comment on pouvait faire varier l'épaisseur de l'emballage en utilisant un plus ou moins grand nombre de couches. Les réponses à cette tâche ont mis en évidence un certain spectre de compréhensions du but ou objet de la tâche ; les groupes ont utilisé différents «cadres» d'investigation. (On en trouvera un compte-rendu plus détaillé dans Lubben et Millar, 1994.) Nous avons noté des exemples de quatre cadres, ou conceptualisations de la tâche, distincts (trois d'entre eux ont été ensuite subdivisés) :

Cadre d'engagement	1	Engagement et activité utilisant le matériel proposé sans plan ou but évident
Cadre de modélisation	2A	Modélisation pour produire un aspect physique souhaité
	2B	Modélisation pour produire un effet souhaité
	2C	Modélisation pour produire un phénomène souhaité
Cadre d'ingénierie	3A	Ingénierie au hasard : optimisation de l'effet souhaité par essai et erreur
	3B	Ingénierie par itération : recherche d'une combinaison de facteurs optimisant l'effet souhaité

Cadre scientifique	4A	Scientifique empirique (comparaison) : utilisation de deux valeurs (souvent des valeurs extrêmes) de variables indépendantes
	4B	Scientifique empirique (tendance) : utilisation d'au moins trois valeurs de variables indépendantes pour repérer une tendance
	4C	Scientifique empirique (relation) : utilisation d'au moins trois valeurs de variables indépendantes pour établir une relation fonctionnelle
	4D	Scientifique explicatif : utilisation de mesures pour tester une prévision fondée sur un modèle explicatif, moyen pour explorer l'utilité de ce modèle

La distinction entre modèle «d'ingénierie» et modèle «scientifique» d'expérimentation a été discutée par Schauble, Klopfer et Raghavan (1990). Dans notre classification des «cadres», nous poussons cette distinction plus loin en subdivisant les deux catégories ingénierie et scientifique et en ajoutant de nouveaux cadres. Les termes doivent, bien sûr, être pris comme des étiquettes et n'impliquent pas une vision de la manière dont de vrais ingénieurs et de vrais scientifiques approchent la recherche ! Bien que présentés suivant un certain ordre, ces cadres ne sont pas nécessairement hiérarchisés : pour certaines tâches, un cadre d'ingénierie ou même un cadre de modélisation peut être parfaitement approprié. Si, cependant, les élèves réinterprètent une tâche posée dans un cadre scientifique et la traitent dans un cadre d'ingénierie, ceci peut être considéré comme témoignant d'un manque de clarté quant aux buts de l'investigation, et peut-être plus généralement sur l'investigation scientifique.

Pour un petit nombre de groupes, l'investigation est apparue caractérisée par l'activité – le pressant besoin de «faire quelque chose», dans l'apparente conviction que cela répondrait aux demandes de la tâche. Ceci a été repéré plus fréquemment chez des élèves de neuf ans que de douze ou treize ans.

Plusieurs indicateurs ont été retenus pour caractériser le cadre de modélisation 2A. L'un était une justification explicite du choix de l'éprouvette graduée comme récipient en raison de sa similitude de forme, par exemple «*parce qu'il ressemble plus à un sac isotherme*» (affirmation de plusieurs groupes de douze et quatorze ans), assortie du commentaire : «*nous aurions dû le tester avec une vraie bouteille de boisson*» (un groupe de quatorze ans). Un autre indicateur était l'emballage sans discrimination du

récepteur dans le matelassage. Des commentaires typiques associés à cette réponse sont : «*Nous avons fait un vrai sac isotherme. Il y en a [l'emballage à bulles] tout autour.*» «*Les sacs isothermes sont toujours comme ça. Ils sont tout couverts. Partout. Pour garder les aliments frais, et la boisson fraîche.*» (groupe de quatorze ans). Un autre groupe d'élèves de quatorze ans expliquent leur choix pour la période d'observation : «*Nous avons essayé [de mesurer le changement de température] pendant deux minutes et ça n'a pas changé. Donc nous allons essayer plus longtemps.*» «*Oui, parce que si vous avez une boisson fraîche, vous n'allez pas la mettre dedans, et la boire deux minutes après, n'est-ce pas ?*»

Le cadre de modélisation 2B diffère de ce dernier par le but qui n'est pas de faire un modèle physique d'un objet mais plutôt de produire un effet souhaité, dans le cas présent une diminution de température. On est en présence d'un indicateur du cadre 2B lorsque des groupes travaillent avec un seul dispositif et cherchent seulement à établir si leur dispositif «*marche*» (groupes de tous âges). Quelques groupes signifient qu'ils travaillent dans ce cadre quand ils considèrent que les mesures qui ne montrent pas une température constante ou décroissante indiquent un «*échec*» ou sont la preuve que «*l'expérience ne marche pas*» (groupes de tous âges), au point même qu'ils ne tirent aucune conclusion et rapportent seulement ces indications. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour faire baisser la température : ajouter davantage d'eau, ou réarranger le matériau isotherme (un groupe de neuf ans, un de quatorze ans), essayer un autre matériau isotherme (un groupe de douze ans), tasser le matériau isotherme dans le becher (un groupe de neuf ans), plonger le matelassage autour du récepteur dans un mélange eau-glace (un groupe de neuf ans), utiliser de la nouvelle eau froide, ou en ajouter (groupes de neuf et onze ans), utiliser différents types d'eau, y compris de l'eau chaude du robinet qui donne lieu à une chute de température satisfaisante (un groupe de neuf ans).

Un cadre d'ingénierie au hasard (3A) a été utilisé fréquemment par des groupes des trois âges ; ainsi en est-il lorsque des groupes décident de «*trouver quel type de matériau est le meilleur pour que le liquide reste froid*», ou lorsque l'efficacité de différentes combinaisons de matériaux est comparée (groupes de tous âges). Il y a là une complète re-formulation de la tâche donnée, qui se focalise sur le type de matériau plutôt que sur l'épaisseur du matériau comme variable indépendante. Un cadre d'ingénierie similaire peut, cependant, être adopté en prenant l'épaisseur comme variable indépendante : la tâche est conceptualisée comme devant trouver l'épaisseur qui fait chuter la température au maximum (groupes de neuf et quatorze ans) ou au plus vite. Un groupe de quatorze ans a utilisé quatre bechers avec des épaisseurs croissantes de mousse, dans l'intention de «*mesurer combien de temps cela prend pour que la température chute dans chaque becher et*

voir lequel marche le mieux». Quelques groupes montrent qu'ils utilisent un cadre d'ingénierie au hasard (3A) quand, lorsqu'on leur demande de tirer des conclusions, ils les formulent en termes d'optimum.

Le cadre scientifique (comparaison) (4A) est caractérisé par l'utilisation de deux épaisseurs et une conclusion tirée en termes de comparaison (ou même de tendance) (groupes de tous âges). L'exemple suivant provient d'un groupe de quatorze ans.

Pour leur premier essai les garçons mesurent la température à intervalles de une minute pendant cinq minutes pour deux bechers contenant cent millilitres d'eau froide du robinet, l'un enveloppé d'une couche, l'autre de deux couches de molleton «*pour voir si deux couches la gardent plus fraîche*». La température de départ est indiquée comme étant de quatorze degrés pour chaque becher. Les résultats (sous forme de tableau) montrent qu'au bout de cinq minutes, la température augmente de quatorze à seize degrés avec une couche, et de quatorze à quinze degrés avec deux couches. Les garçons concluent que «*plus l'isolation est épaisse, plus l'eau reste froide longtemps*». Ils généralisent à partir d'une comparaison sur deux points.

Lorsqu'un cadre scientifique (tendance) (4B) a été adopté, les groupes ont utilisé plus de deux points de mesure (nombreux exemples dans des groupes de douze et quatorze ans). L'exemple suivant correspond à un groupe de quatorze ans.

Au premier essai les garçons prévoient d'utiliser dix millilitres d'eau refroidie par de la glace dans une éprouvette enveloppée dans une couche de mousse, et mesurent la température toutes les minutes pendant dix minutes, y compris une mesure dès le début. Ils utilisent la même procédure pour une éprouvette graduée sans aucun matelassage, et respectivement avec deux et trois couches de mousse. Les températures finales décroissent avec l'augmentation du nombre de couches de matelassage. Ils concluent que «*plus on met de matelassage, plus ça reste frais*» ou «*plus il y a de l'isolation, plus cela prend de temps pour devenir tiède*».

Tracer un graphe de variation de la température en fonction de l'épaisseur, ou établir la conclusion en termes de relation («*lorsque l'épaisseur augmente, l'élévation de température en dix minutes diminue*»), ont été pris comme indicateurs d'un cadre scientifique (relation) (4C).

Il semble que certains groupes aient modifié leur cadre au cours de l'investigation, ou aient utilisé des cadres différents pour mener à bien la tâche et pour établir les conclusions, mais les trois quarts des groupes ont utilisé un cadre stable (cadre 2, 3 ou 4) durant l'investigation. Il est également intéressant de noter qu'environ soixante quinze pour cent des

changements de cadre qui sont apparus ont abouti à un cadre d'ingénierie. Ceci constitue un progrès pour les groupes qui partaient d'un cadre de modélisation, et nous pourrions en conclure qu'un apprentissage s'est effectué durant l'investigation. Plusieurs groupes, cependant, ont régressé d'un cadre scientifique à un cadre d'ingénierie.

Le tableau 3 résume les choix de cadre pour l'investigation *Boisson fraîche* des élèves des trois classes d'âge en question. Lorsqu'un groupe a utilisé plus d'un cadre au cours de la tâche, on a considéré le cadre qu'ils ont utilisé en formulant leurs conclusions comme leur cadre «principal». Ce tableau montre un mouvement entre neuf et douze ans du cadre de modélisation vers le cadre d'ingénierie. Un autre changement se produit entre douze et quatorze ans, du cadre d'ingénierie vers le cadre scientifique. Cependant, même à quatorze ans, moins de la moitié des groupes ont utilisé un cadre scientifique pour une tâche formulée dans ce cadre, et le choix d'un cadre d'ingénierie est encore très courant. (Pour une discussion plus complète sur la progression dans la performance, voir Millar et al., 1996.)

Cadre «principal»	9 ans	12 ans	14 ans
cadre de modélisation	6 (37)	6 (19)	7 (22)
cadre d'ingénierie	6 (37)	17 (53)	13 (41)
cadre scientifique	4 (25)	9 (28)	12 (37)
TOTAL	16 (100)	32 (100)	32 (100)

Tableau 3 : Nombre de groupes ayant choisi un cadre d'investigation (pourcentages entre parenthèses)

Ceci semble suggérer que beaucoup d'élèves, et ceci jusqu'à quatorze ans, trouvent plus facile de donner une signification personnelle à une tâche pratique, conçue en termes d'optimisation, ou de mise au point. À savoir qu'une tâche orientée de manière plus pratique est plus facilement prise en charge et davantage d'élèves trouvent possible de donner sens à l'objet de la tâche, que si elle est formulée en des termes plus abstraits d'exploration de relations entre variables «pour leur seul intérêt». Dans chacun des cadres, ingénierie et scientifique, de nombreux élèves ont traité la tâche comme une «recherche personnelle» : leur but était de satisfaire leur propre curiosité sur ce qui se passait. Ainsi, une comparaison de deux cas s'est révélée suffisante pour convaincre nombre d'entre eux que «*plus le matelassage est épais, mieux ça marche*», comme dans la vie de tous les jours ; et de très petites différences entre les mesures dans différents cas ont été considérées comme significatives. Peu d'entre eux semblent avoir franchi le pas d'une «recherche personnelle» à une «recherche publique»,

dans lequel l'important est la nécessité de constituer la preuve pour persuader les autres de ses propres conclusions. Je reviendrai plus tard sur cette question.

4.2. Compréhension de la preuve expérimentale

Dans beaucoup de procès-verbaux des séances de groupe de travail expérimental collectés durant le projet PACKS, on relève un trait frappant : la façon peu convaincante dont les élèves manipulent les données empiriques. Nombreux sont ceux qui apprécient mal les faiblesses ou les incertitudes éventuelles dans leurs données, même quand celles-ci sont manifestes pour un observateur extérieur. Peu d'élèves font la démarche de vérifier ou d'améliorer la qualité de ces données, même quand ils auraient pu facilement le faire en répétant mesures ou observations. La seule situation qui provoque immanquablement un retour sur une mesure est celle où quelque chose a manifestement été de travers dans l'opération de mesure. Si bien que les données collectées apparaissent souvent comme le produit final de l'expérimentation, plutôt que comme une **preuve** sur laquelle appuyer une conclusion.

Un exemple peut illustrer la manière qu'ont les élèves d'exploiter des données expérimentales. Cet extrait provient de l'enregistrement d'un groupe d'adolescents (quatorze ans) travaillant sur la tâche *Boisson fraîche*.

[Après une première tentative au cours de laquelle ils cherchent à mesurer le temps que met la température pour augmenter de façon observable] ... leur deuxième essai consiste à mesurer l'augmentation de température au bout de quinze minutes, et ceci simultanément pour trois bechers d'eau glacée (sans couvercle) enveloppés d'épaisseurs croissantes de mousse. La variable dépendante n'est plus l'intervalle de temps mais l'augmentation de température. Les températures finales des bechers entourés d'une, deux ou trois couches sont respectivement dix, six et huit degrés Celsius. Les élèves concluent que «*le mieux est de mettre deux couches*».

Voilà donc un résultat qui semble anormal, et que les élèves considèrent sans la moindre question comme valide et fiable. Bien différente est la réaction d'un autre groupe (des élèves de douze ans), face à des écarts de températures faibles et de même ordre de grandeur :

Chaque membre du groupe remplit un tableau comme suit.

Temps (en minutes)	Température (C) molleton + mousse	Température (C) emballage à bulles + mousse
0	7	7
1	3	4
2	4	4
3	3	4
4	4	4
5	5	5
6	6	7
7	5	7
8	5	6
9	6	6
10	6	7

Le groupe ne conclut pas, considérant que «*les résultats n'indiquent pas quel est le meilleur isolant*».

Dans ce cas, l'usage simultané de deux matériaux pour chaque becher est la marque d'une compréhension imparfaite de la tâche (au mieux un cadre de modélisation ou d'ingénierie), mais l'interprétation des données recueillies témoigne, dans cet exemple, d'une compréhension adéquate de la preuve expérimentale.

En parlant d'une compréhension de la preuve expérimentale, nous avons en tête un certain nombre d'aspects du travail des élèves :

- des indices qu'ils sont conscients qu'il y a (inévitablement) de l'incertitude dans leurs données ;
- des indices qu'ils connaissent des manières d'évaluer le degré d'incertitude attaché à leurs données ;
- des indices qu'ils savent minimiser l'incertitude attachée à leurs données ;
- une réticence à tirer une conclusion ferme à partir de différences minimales dans leurs mesures, ou une volonté de conclure qu'«*on ne peut pas conclure clairement*».

Peut-être les indices les plus sûrs sont-ils la décision de répéter des mesures, et l'usage qui en est fait. D'autres sont parfois fournis par la réaction à des données apparemment anormales. Le choix des valeurs des paramètres, des variables de contrôle et des variables indépendantes, ainsi que la précision avec laquelle les mesures sont faites peuvent également servir d'indicateurs.

En ce qui concerne la tâche *Boisson fraîche*, nous nous sommes fondés sur l'éventail des valeurs choisies pour la variable indépendante (l'épaisseur de l'enveloppe), la durée sur laquelle les changements de

température sont évalués, la précision des mesures de la température et l'appréciation de la valeur indicative des faibles différences. La démarche de chaque groupe d'élève a été évaluée comme «faible», «moyenne», ou «bonne» pour chacun des ces aspects. Par exemple, en matière d'interprétation des faibles différences, nous avons observé une nette amélioration entre neuf et douze ans ($\chi^2 = 6,96$, 2 df ; $p < 0,05$), mais peu d'amélioration ensuite, vers quatorze ans (voir tableau 4).

Niveau de compréhension	9 ans	12 ans	14 ans
«faible»	9	12	10
«partiel»	6	8	11
«bon»	1	12	11
TOTAL	16	32	32

Tableau 4 : **Compréhension manifestée dans l'interprétation de données ayant de faibles différences (dans la tâche)**. Nombre de groupes pour chaque catégorie de réponse

Avec chaque tâche d'investigation expérimentale, nous avons également recueilli les réponses d'élèves à un jeu de tests diagnostiques portant sur des aspects de la mesure, du traitement et de l'interprétation des données. Ces tests ont été administrés juste après la fin de la séance d'investigation expérimentale. Les questions posées mettent en jeu un contexte différent et portent sur l'intérêt plus ou moins grand et sur le but de mesures répétées, sur l'usage de celles-ci ainsi que sur l'interprétation de faibles différences. Nous voulions voir dans quelle mesure ce que les élèves semblaient avoir compris de la preuve expérimentale dans le contexte de la tâche rejoignait ou non leurs réponses à des questions explicites posées lors de ces tests diagnostiques.

Les tableaux 5 et 6 montrent la progression avec l'âge de la façon dont les élèves comprennent le but de mesures répétées, et de leur aptitude à traiter ces données.

	9 ans	12 ans	14 ans
Répéter n'aide pas	5	4	0
Répéter aide à confirmer	8	9	4
Répéter aide à augmenter l'exactitude	2	10	15
Répéter aide à traiter la dispersion	-	9	12
Pas de réponse	1	-	1
TOTAL	16	32	32

Tableau 5 : **Idées des enfants concernant la répétition de mesures (lors du test)**. Nombre de groupes pour chaque type de réponse

	9 ans	12 ans	14 ans
Sélectionner une valeur extrême	6	4	3
Sélectionner la valeur la plus fréquente	4	6	1
Comparer les totaux	4	13	13
Comparer les moyennes	1	8	11
Pas de réponse	1	1	4
TOTAL	16	32	32

Tableau 6 : **Utilisation de mesures répétées (lors du test)**. Nombre de groupes pour chaque type de réponse

En notant les groupes sur une échelle à trois niveaux (0, 1, 2) pour une série d'indicateurs de compréhension de la preuve expérimentale, et ceci dans l'accomplissement de la tâche comme dans les tests diagnostiques, nous pouvons évaluer le degré de corrélation entre le niveau de compréhension implicite dans l'action et celui qui apparaît explicitement en réponse aux items diagnostiques. Le tableau 7 résume ceci pour la tâche *Boisson fraîche* comme pour les tests associés. Le coefficient de corrélation de Pearson est 0.38 (N=75 ; $p < 0.005$), ce qui traduit une association nette entre les deux mesures. (Cinq des 80 groupes ont donné des réponses qui ne sont pas assez claires pour être codées.)

	score des élèves (pour la tâche)		
score des élèves (lors des tests)	haut	moyen	bas
haut	12	6	3
moyen	8	19	5
bas	4	7	11

Tableau 7 : **Scores relatifs à la compréhension de la fiabilité dans l'investigation *Boisson fraîche* et lors des tests**. Nombre de groupes par combinaison de scores

Cependant, ce type d'association n'apparaît pas pour toutes les tâches d'investigation. Il est probable que certains détails spécifiques de tel ou tel test aient une influence significative sur les réponses ; ces tests doivent être considérés comme spéculatifs, et leur interprétation menée avec quelque précaution. De notre expérience d'observation des élèves réalisant des investigations, il nous apparaît clairement que, dans certaines investigations, la manipulation du matériel expérimental amène les élèves à ressentir le besoin de modifier et d'améliorer leurs procédures de recueil de données, bien autrement que les tests diagnostiques écrits.

Si nous regardons, plus généralement, de quelles manières les élèves traitent les problèmes de recueil de données, la présentation et l'usage de celles-ci comme preuve expérimentale, nous avons à nouveau le sentiment que, pour de nombreux élèves et groupes d'élèves, une investigation expérimentale est, au mieux, un exercice de recherche personnelle plutôt que publique. Je dis «au mieux» car il ressort non moins clairement d'observations d'élèves au travail que beaucoup traitent la tâche d'investigation comme un exercice scolaire artificiel, dont le but est de suivre certaines étapes et procédures qui vont satisfaire les attentes du professeur. De ce point de vue, cette tâche ressemble à beaucoup d'activités d'apprentissage qui se déroulent dans les classes dans tous les domaines. Peu d'élèves se comportent comme s'ils considéraient que leur recherche était un acte authentique de découverte sur le monde. Il est probablement déraisonnable d'attendre cela d'eux. En revanche, beaucoup se comportent effectivement comme si ce qu'ils trouvaient était une découverte **pour eux-mêmes**. Cependant, ceci entraîne que leurs standards de «preuve expérimentale» sont ceux qui les rendent confiants dans la réponse, ou au moins leur procurent une confiance à la mesure de leur engagement dans la tâche et de la perception qu'ils ont de son importance. Sans doute l'idée fondamentale que les élèves doivent apprendre au sujet de l'investigation scientifique est qu'elle vise la connaissance publique – des conclusions que l'on peut présenter et défendre ouvertement, la preuve expérimentale à l'appui de toute conclusion étant exhibée de manière claire et convaincante.

5. CONSÉQUENCES POUR L'ENSEIGNEMENT ET POUR LA RECHERCHE

Le paragraphe précédent se termine en soulignant une conséquence importante du projet PACKS pour l'enseignement de l'investigation scientifique. Nos analyses des réponses d'élèves concernant leur choix de cadre de recherche, d'une part, leur usage des données comme preuve expérimentale, d'autre part, indiquent l'une et l'autre qu'il faut expliciter les buts de l'investigation expérimentale en science auprès des élèves. Ceci afin qu'ils prennent conscience qu'il est nécessaire de prouver les conclusions, et qu'ils apprennent comment recueillir et traiter des données pour qu'elles **en viennent à constituer**, précisément, une preuve expérimentale. Plus fondamentalement, le projet PACKS propose un modèle de la pratique de la science qui se fonde sur la connaissance, et il a exploré l'utilité d'un tel modèle comme outil de recherche et comme base d'un enseignement visant à développer chez les élèves leur capacité à mener des tâches d'investigation. Ceci fournit une alternative aux modèles fondés sur des habiletés, lesquels ont, jusqu'à présent, dominé le débat sur cet aspect de l'éducation scientifique,

mais dont les bases expérimentales sont faibles. Comparé à ceux qui se fondent sur les habiletés, un modèle fondé sur la connaissance fournit un cadre plus clair pour les décisions curriculaires, car il offre une «carte» du domaine d'apprentissage et une base pour déterminer des séquences d'enseignement.

De la même façon, une approche de ce type – fondée sur la connaissance – pour comprendre la pratique de l'investigation scientifique ouvre un nouveau champ de recherche : explorer les aspects de la compréhension en cause dans la conduite de tâches pratiques, comme on l'a fait pour la plupart des contenus scientifiques lors des dernières décennies (voir par exemple Driver et al., 1994 ; Pfundt & Duit, 1994). Une telle approche permet aussi de contrôler plus précisément les exigences cognitives des tâches et de gérer avec plus d'acuité la progression des élèves vers le niveau de performance désiré.

Tout en analysant la pratique de l'investigation scientifique, certains aspects de compréhension de «comment faire la science» vont rester inévitablement tacites. Nous ne pouvons aspirer à enseigner la créativité et le flair qui font l'expérimentateur talentueux. Mais nous **pouvons** améliorer notre enseignement des fondements de l'investigation scientifique et des bases nécessaires de toute recherche publique en science, en amenant la plupart des élèves à suffisamment de compréhension pour qu'ils puissent mener des tâches d'investigation de routine de façon compétente et correcte.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSESSMENT OF PERFORMANCE UNIT (APU) (1987). *Assessing Investigations at ages 13 and 15. Science Report for Teachers*, n°9. London, DES.
- DEPARTMENT FOR EDUCATION AND EMPLOYMENT/WELSH OFFICE (DFEE/WO) (1995). *Science in the National Curriculum*. London, HMSO.
- DRIVER R., SQUIRES A., RUSHWORTH P. & WOOD-ROBINSON V. (1994). *Making Sense of Secondary Science. Support Materials for Teachers*. London, Routledge.
- ERICKSON G., BARTLEY R.W., BLAKE L., CARLISLE R.W., MEYER K. & STAVY R. (1992). *British Columbia assessment of science 1991 technical report II : Student performance component*. Victoria, B.C., Ministry of Education and Ministry Responsible for Multiculturalism and Human Rights.
- GAGNÉ R.M. (1965). The psychological basis for Science - A Process Approach. In *AAAS miscellaneous publication*. Washington, DC, American Association for the Advancement of Science, pp. 65-68.
- GOTT R. & DUGGAN S. (1995). *Investigative Work in the Science Curriculum*. Buckingham, Open University Press.
- KLOPFER L.E. (1971). Evaluation of learning in science. In B.S. Bloom, J.T. Hastings & G.F. Madaus (Eds), *Handbook of Formative and Summative Evaluation of Student Learning*. New York, McGraw-Hill, pp. 559-642.

- LOCK R. (1993). Assessment of practical skills. Part 2 : Context dependency and construct validity. *Research in Science and Technological Education*, vol. 8, n°1, pp. 35-52.
- LUBBEN F. & MILLAR R. (1994). *Children's responses to the Cool drink task and probes. PACKS Research Paper 1*. York/Durham, Department of Educational Studies/School of Education.
- MILLAR R., LUBBEN F., GOTT R. & DUGGAN S. (1994). Investigating in the school science laboratory : conceptual and procedural knowledge and their influence on performance. *Research Papers in Education*, vol. 9, n°2, pp. 207-249.
- MILLAR R., GOTT R., LUBBEN F. & DUGGAN S. (1996). Children's performance of investigative tasks in science : A framework for considering progression. In M. Hughes (Ed.), *Progression in Learning. BERA Dialogues 11*. Clevedon, Multilingual Matters Ltd, pp. 82-108.
- PFUNDT H. & DUIT R. (1994). *Bibliography : Students' Alternative Frameworks and Science Education*, 4e éd. Kiel, IPN.
- QUALTER A., STRANG J., SWATTON P. & TAYLOR P. (1990). *Exploration. A Way of Learning Science*. Oxford, Blackwell.
- SCHAUBLE L., KLOPFER L.E. & RAGHAVAN K. (1991). Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 28, n°9, pp. 859-882.

Remerciements

Le projet «Procedural and Conceptual Knowledge in Science» (PACKS) a bénéficié du soutien, d'octobre 1991 à mars 1994, du Comité pour la Recherche Économique et Sociale du Royaume-Uni (Economic and Social Research Council, ESRC), dotation n° L208 25 2008, dans le cadre du programme de recherche «Innovation et évolution dans l'éducation : qualité de l'enseignement et de l'apprentissage». Le projet était piloté par les Universités d'York et de Durham et dirigé par Robin Millar et Richard Gott. Les réalisateurs du projet étaient Fred Lubben, qui a recueilli la plupart des données présentées dans cet article, et Sandra Duggan. Je les remercie pour leurs contributions, particulièrement celle de Fred Lubben, à la réflexion concernant les questions discutées dans cet article.

Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année

Bernard DARLEY

LIDSE - EUDIBIO, Biologie Animale
BP 53X - Université Joseph Fourier-Grenoble 1
38041 Grenoble cedex, France.

Résumé

Il est classique de dénoncer chez les étudiants l'absence d'esprit critique, leur difficulté à énoncer des hypothèses cohérentes avec des données théoriques ou encore leur incapacité à interpréter des résultats expérimentaux. L'absence de consensus sur ce que doit être la démarche scientifique ne doit pas être prétexte à laisser le champ libre à un apprentissage empirique à l'épistémologie mal contrôlée. Cet article tente de dégager les points de consensus repérables à propos de la démarche scientifique et en propose une transposition didactique dans le cadre de travaux pratiques de physiologie animale destinés à des étudiants de deuxième année de premier cycle universitaire.

Mots clés : *démarche scientifique, transposition didactique, épistémologie, travaux pratiques.*

Abstract

It is customary to denounce the lack of critical thinking in students, the difficulties with which they have in formulating coherent hypotheses or even their incapacity to interpret experimental results. The absence of consensus on what should be the scientific method should not become a pretext for leaving the field open to

uncontrolled learning and an empirical epistemology. This article attempts to draw out the points of consensus with respect to scientific method and proposes a didactic transposition of it within the framework of practical work on animal physiology, destined for second year university students.

Key words : *scientific method, didactic transposition, epistemology, practical work.*

Resumen

Es clásico de denunciar en los estudiantes la ausencia de espíritu científico, sus dificultades para formular hipótesis coherentes con los datos teóricos o todavía su incapacidad para interpretar los resultados experimentales. La ausencia de consenso sobre lo que debe ser el procedimiento científico no debe ser pretexto para dejar el camino libre a un aprendizaje empírico de una epistemología mal controlada. Este artículo intenta de discernir los puntos de consenso señalados a propósito del procedimiento científico y sugerir una transposición didáctica en el marco de trabajos prácticos de la fisiología animal destinados a estudiantes de segundo año del primer ciclo universitario.

Palabras claves : *procedimiento científico, transposición didáctica, epistemología, trabajos prácticos.*

INTRODUCTION

Pour que l'enseignement universitaire de la biologie puisse être qualifié de scientifique, il se doit d'avoir deux exigences indissociables bien connues :

– ses contenus doivent être en accord avec les conclusions les plus récentes publiées par la communauté scientifique contemporaine. Cette «valeur scientifique» des savoirs transmis (dont l'une des qualités premières est d'avoir des sources identifiables et reconnues par les pairs) constitue le fondement des savoirs enseignés puisque c'est principalement sur elle que portera l'évaluation ;

– cet enseignement doit également amener ceux à qui il est destiné à distinguer ce qui relève du traitement scientifique d'un problème de ce qui est de l'ordre de l'affirmation, de l'opinion, du dogme, voire de la supercherie. C'est cette qualité qui va distinguer cet enseignement d'un enseignement dogmatique.

Si la première exigence est, sauf exception qui relève le plus souvent de l'anecdote, généralement satisfaite, on peut, en revanche, s'interroger sur la mise en œuvre de la seconde. L'enseignement scientifique tel qu'il est

actuellement dispensé à l'université permet-il aux étudiants d'être initiés aux processus de construction de cette discipline scientifique expérimentale ? Conduit-on suffisamment souvent les étudiants à s'interroger sur la pertinence d'un modèle et sur les limites de son champ d'application ? Leur donne-t-on les outils méthodologiques qui leur permettront de distinguer le scientifique du dogmatique ? (voir à ce propos les analyses de Rumelhard, 1979 et de Rancoule & Favre, 1993).

L'enseignement de la biologie à l'université se compose, en règle générale :

- de cours magistraux consacrés, pour l'essentiel, à la transmission de connaissances ;
- de travaux dirigés (TD) centrés sur des exercices de réflexion à propos de ces connaissances, ou sur la préparation aux travaux pratiques ;
- de travaux pratiques (TP) qui sont consacrés à la mise en application ou à l'illustration expérimentales des modèles proposés en cours ou en travaux dirigés.

Le problème posé plus haut peut donc se reformuler de la façon suivante : les travaux pratiques sont-ils, comme leur fonction paraît l'indiquer, des lieux de sensibilisation et d'initiation à la démarche scientifique ?

Répondre à cette question renvoie à deux sous-problèmes :

- quelle définition peut-on proposer de la démarche scientifique ?
- quelle transposition peut-on proposer pour cette dernière ?

1. ANALYSE ÉPISTÉMOLOGIQUE DE LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

Il m'a paru intéressant d'envisager cette analyse sous la forme d'une étude de l'évolution de l'idée de démarche scientifique au travers des principaux courants épistémologiques qui ont traversé l'histoire des sciences occidentales. Il est en effet difficile de faire l'économie de cette étude si l'on veut tenter de comprendre les débats existant entre les épistémologues contemporains.

Sans entrer dans ces débats, au demeurant passionnants, mon objectif est de tenter de faire apparaître, dans un premier temps, les points de désaccord entre ces différents courants dans la manière d'aborder scientifiquement un problème, avant de m'intéresser à ce qui les rassemble.

1.1. Les divergences : deux grands courants épistémologiques

Les divergences apparaissent lorsque l'on s'intéresse d'une part à la genèse du problème et aux procédures qui, selon les différents auteurs, conduisent à la formulation de l'hypothèse et, d'autre part, à l'image que l'on se fait des savoirs constitués et de leur mode d'élaboration. Pour ce qui concerne les sciences expérimentales, on peut, malgré l'aspect réducteur d'un tel découpage, ramener les approches à deux grandes écoles de pensée qui vont principalement s'opposer sur les deux points cités plus haut.

La première de ces écoles est centrée sur l'**induction**. Dans le cadre inductiviste, le problème, en tant que question clairement identifiée, n'est pas premier ; il ne devient important que secondairement, c'est-à-dire lorsque le chercheur possède suffisamment d'éléments objectifs pour le formuler. C'est la curiosité «spontanée» du chercheur qui le mène à collecter des informations au hasard de ses observations ; de cette collecte non orientée naîtra un certain nombre d'interrogations qui se synchrétiseront en un problème. La connaissance naîtra de l'accumulation de réponses satisfaisantes au problème. On retrouve, derrière le principe de l'induction, l'idée d'une préexistence des lois et d'un monde connaissable.

En 1620, Francis Bacon dénonçait, dans son *Novum Organum*, l'hégémonie du syllogisme dans la rhétorique des scolastiques, «*ce mode d'invention et de preuve qui commence par établir les principes les plus généraux, puis leur soumet les axiomes moyens, pour prouver ces derniers, est la mère de l'erreur et le fléau de toutes les sciences*» (in Pousseur, 1988, p. 108). Il faut, dit-il, suivre une démarche qui part «*des sensations et des faits particuliers ; mais s'élevant avec lenteur par une marche graduelle et sans franchir aucun degré, elle n'arrive que bien tard aux propositions les plus générales ; cette dernière méthode est la véritable mais personne ne l'a encore tentée* » (ibid., p. 39). En proposant d'observer la Nature pour en découvrir les lois plutôt que les déduire de prémisses contestables, Bacon pose les bases de la vérification expérimentale. On retrouve, bien entendu, cette approche chez Auguste Comte qui fait de l'observation l'arbitre de la pensée en posant le principe d'une science positive où «*partant de faits observables définis relativement à l'observateur, les lois naturelles sont établies dans la constante subordination de l'imagination à l'observation*» (*Discours sur l'esprit positif* 1844, in Kremer-Marietti, 1984). Mais si la référence à l'observation reste omniprésente chez A. Comte, sa méthodologie, on le verra plus bas, se démarque néanmoins de l'induction orthodoxe défendue par Bacon.

Le credo positiviste sera décliné par l'un des plus grands expérimentateurs du XIX^e siècle qu'est Claude Bernard. «*Le savant complet*

est celui qui embrasse à la fois la théorie et la pratique expérimentale. 1° Il constate un fait ; 2° À propos de ce fait, une idée naît dans son esprit ; 3° En vue de cette idée, il raisonne, institue une expérience, en imagine et en réalise les conditions matérielles. 4° De cette expérience résultent de nouveaux phénomènes qu'il faut observer et ainsi de suite. L'esprit du savant se trouve en quelque sorte toujours placé entre deux observations : l'une qui sert de point de départ au raisonnement, et l'autre qui lui sert de conclusion.» (Bernard, 1984, p. 54) Ces étapes ont été rassemblées dans la formule OHERIC (Observation-Hypothèse-Expérimentation-Résultats-Interprétation-Conclusion) par André Giordan dans l'analyse critique qu'il fait de la méthode expérimentale telle qu'elle est pratiquée dans les classes de l'enseignement secondaire (Giordan, 1978).

On passe donc progressivement, de F. Bacon à C. Bernard, de la nécessité de faits et observations plurielles à un fait suffisant pour générer une «idée» dans l'esprit du chercheur. Mais la connaissance reste une construction qui se fait par accumulation de faits congruents ; accumulation qui est, dit Reichenbach, *«le moyen par lequel la science décide de la vérité. Pour être plus exacts, nous devrions dire qu'il sert à décider de la probabilité. Car il n'est donné à la science d'atteindre ni la vérité ni la fausseté, les énoncés scientifiques ne peuvent qu'atteindre des degrés continus de probabilité dont les limites supérieures et inférieures, hors d'atteinte, sont la vérité et la fausseté.»* (Reichenbach in Popper, 1973, pp. 25-26) Les lois de la nature, connaissance ultime rêvée par F. Bacon, deviennent probabilités en ce XX^e siècle marqué par le principe d'incertitude d'Eisenberg.

La seconde école est centrée sur la **déduction**, non pas au sens formel d'Aristote, mais sur une déduction où des conjectures tiennent place de prémisses. L'origine du problème (déduction associant connaissances antérieures et observations fortuites ou provoquées...) importe peu ici ; l'important est qu'il soit là, véritable point de départ de la démarche. *«Aux questions proposées, "d'où tenez-vous ce savoir ? Quelle est la source ou le fondement de votre assertion ? Quelles sont les observations qui vous y ont conduit ?", je répondrais par conséquent ainsi : "Je ne sais pas : cette affirmation n'était qu'une pure et simple supposition[...] et si vous parvenez à mettre au point un test expérimental qui, selon vous, est susceptible de réfuter l'affirmation, c'est volontiers et dans toute la mesure de mes forces que je contribuerai à cette entreprise de réfutation".»* (Popper, 1985, p. 52) Pas plus que la genèse du problème n'est intéressante en soi, le principe d'universalité de la connaissance, ou de connaissance ultime, n'a de sens dans cette démarche. Une connaissance ne vaut que par sa capacité à nous rendre le monde compréhensible.

G. Bachelard et K. Popper convergent sur un certain nombre de points, en particulier dans la volonté qu'ils expriment de réconcilier empirisme et rationalisme et dans leurs attaques virulentes de l'inductivisme. Bachelard dénonce l'induction naïve qui interdit toute idée *a priori*, comme si «*devant le mystère du réel, l'âme peut se faire, par décret, ingénue*» (Bachelard, 1983, p. 14). La connaissance n'est jamais immédiate, l'observation est toujours trompeuse et l'on ne peut comprendre le réel si l'on n'a pas, au préalable, critiqué et désorganisé ses intuitions premières. La science ne s'élabore pas par ajouts successifs mais, pour Bachelard, contre les obstacles que dressent nos sens et nos habitudes, et contre les théories qu'il faut réfuter pour K. Popper. Pour ce dernier, «*le critère de la scientificité d'une théorie réside dans la possibilité de l'invalider, de la réfuter ou encore de la tester*» (Popper, 1985, p. 65). La cheville ouvrière de la démarche est la conjecture ; son origine importe peu, seules son heuristique et sa capacité à être testée sont intéressantes. On retrouve là l'idée de «*paradigme*» chère à Thomas Kuhn ; paradigmes concurrents s'opposant de manière brève mais violente lors des «*révolutions scientifiques*» ou coexistant, parfois haineusement, pendant plusieurs siècles. À l'opposé d'une science tranquille où chacun vient apporter sa pierre à l'édifice, Popper, Bachelard, Kuhn et Chalmers proposent une science en perpétuelle reconstruction où la communauté scientifique joue le rôle d'arbitre. Quant à l'idée d'une connaissance dont la probabilité de véracité croît avec le nombre de corroborations, Chalmers lui oppose simplement qu'un nombre de corroborations aussi grand soit-il, divisé par une infinité de cas possibles, donnera toujours une probabilité nulle (Chalmers, 1988, p. 38).

En résumé, je dirai que l'inductivisme considère que le problème n'est pas premier mais naît de l'analyse d'une observation judicieuse des faits (**savoir** observer) ou de l'analyse des résultats d'une expérimentation (**savoir** interpréter). La connaissance passe par la perception d'observables identifiés comme pertinents et c'est sur ces observables que la raison doit s'exercer. La réponse au problème est une synthèse *a posteriori* des interrelations liants ces observables entre eux. On retrouve là une démarche largement développée par F. Bacon, A. Comte et, dans une moindre mesure, par C. Bernard.

Le second courant épistémologique considère que le problème est non seulement premier mais constitue le moteur et l'axe d'orientation de la recherche qui lui est associée. Ce problème posé à notre raison appelle une réponse immédiate qui est une proposition *a priori*, conjecturale, qui devra être validée *a posteriori*. On retrouve là les grands principes du courant rationaliste largement dominé par les écrits de K. Popper et de G. Bachelard. À la validation expérimentale, T. Kuhn ajoute la validation sociale délivrée (ou non) par la communauté scientifique.

1.2. Les points communs

De tous les points communs aux différentes analyses épistémologiques de la construction des savoirs, la plus importante me paraît être celle-ci : la mise en œuvre d'une démarche scientifique n'est jamais gratuite, **elle est toujours une démarche de résolution de problème à propos d'un phénomène donné. C'est la quête systématique et minutieuse d'une réponse à un problème donné.** Cette affirmation pourra apparaître comme un truisme. Mais l'absence quasi générale de problématisation des protocoles de travaux pratiques ne rend pas inutile le rappel de cette apparente évidence.

Si l'on fait abstraction des discussions à propos de la genèse du problème et de celles, plus vives encore peut-être, à propos de la genèse des théories, et que l'on se concentre sur ce que l'on pourrait appeler la partie «centrale» de ce que chacun appelle la démarche scientifique (pour mieux la faire sienne et affirmer son unicité), à savoir la procédure de test de l'hypothèse (ou de la conjecture comme on voudra la nommer), on voit se dégager un consensus intéressant pour les enseignants que nous sommes.

F. Bacon définit déjà l'induction vraiment utile comme celle qui *«dans l'invention ou la démonstration des sciences et des arts fait un choix parmi les observations et les expériences, dégageant de la masse, par des exclusions et des réjections convenables, les faits non concluants »* (in Blanché, p. 41). Ce choix ne peut se faire qu'en référence à un idéal théorique prédéfini qui ressemble fort à une conjecture. Auguste Comte renchérit en signalant que *«même à l'égard des plus simples phénomènes [aucune interprétation ne serait possible] si l'on ne commençait souvent par anticiper sur les résultats en faisant une supposition provisoire, d'abord essentiellement conjecturale. [...] Sans cet heureux détour [...] la découverte effective des lois naturelles serait évidemment impossible»* (A. Comte, *Cours de philosophie positive*, t. II (1835), 28^{ème} leçon, in Blanché pp. 163-164) ; à quoi il ajoute que *«si en contemplant les phénomènes nous ne les rattachions point immédiatement à quelques principes, non seulement il nous serait impossible de combiner ces observations isolées, et, par conséquent, d'en tirer aucun fruit, mais nous serions même entièrement incapables de les retenir ; et, le plus souvent, les faits resteraient inaperçus à nos yeux.»* (A. Comte, 1989, p. 32) Nécessité d'un cadre théorique préalable pour interpréter observation ou résultats expérimentaux, subordination de l'imagination à l'observation : on n'est pas très éloigné du principe «popperien» de la conjecture falsifiable, lui-même assez proche du principe déterministe de vérification expérimentale défini par C. Bernard.

L'ensemble des courants épistémologiques se retrouve finalement d'accord autour des procédures à mettre en œuvre pour tester une hypothèse, même si les processus de sa genèse les opposent : cadre théorique préalablement défini, hypothèse formulée de manière à pouvoir anticiper ses conséquences, protocole expérimental reproductible selon les principes déterministes définis par C. Bernard, interprétation des résultats dans le strict champ d'application défini par la formulation du problème. Au cours de cette dernière étape les divergences réapparaissent, conclusion finale pour les uns, modèle conjectural temporairement corroboré pour les autres.

En nous replaçant dans notre contexte d'enseignant et en faisant abstraction des débats philosophiques qui opposent les épistémologues à propos de l'origine du problème et de la genèse des théories, on peut donc dégager un noyau consensuel autour du fait que les lois, les modèles, les théories, ont pour finalité de rendre un phénomène observé accessible à notre raison (que cette finalité soit ultime ou relative nous importe peu). Et que pour avoir le statut de scientifiques, les propositions ainsi élaborées doivent faire l'objet d'une double validation :

- une validation expérimentale reproductible, basée sur une confrontation rigoureuse entre les assertions proposées comme conséquences du fonctionnement du phénomène tel qu'on l'a imaginé et le fonctionnement expérimentalement appréhendé ;

- une validation sociale ; les propositions doivent faire l'objet de communications publiques soumises à la critique des pairs et conduire, sinon à un consensus général, au moins à la création d'un courant de pensée.

Il semblerait, pour en conclure avec cette introduction, que les deux approches décrites soient, en fait, la description décalée d'une même procédure. L'ensemble des analyses faites par les épistémologues modernes (Chalmers, Kuhn) ainsi que celles faites par les sociologues des sciences (comme Bruno Latour (1989), tendent à montrer que l'approche dite déductiviste correspond à une description de l'activité de recherche plus conforme à la réalité avec son aspect foisonnant, ses boucles de rétroaction multiples. Alors que l'approche inductiviste est plus conforme à la réécriture *a posteriori*, structurée, linéaire, conforme aux impératifs de la narration qui nécessite un début (la quête du problème à l'aide d'indices), un développement (la formulation du problème et sa résolution à partir des indices accumulés) et une conclusion (la loi universelle).

Sans entrer plus avant dans le débat, on ne peut pas en terminer sans évoquer les interférences entre ces deux écoles et les approches réaliste ou idéaliste du monde physique et biologique dans lequel nous évoluons et qui se trouve être, en même temps, objet d'étude. On peut, sans que cela

soit incompatible, être inductiviste et réaliste, c'est-à-dire empirique au sens premier, celui qui par l'expérience découvre les lois de la nature, ou être inductiviste et idéaliste, version plus intellectualisée de la première, qui en conserve le processus heuristique tout en étant plus prudent sur la qualité d'existence du monde qui nous entoure. Le positivisme d'A. Comte peut être rangé dans cette dernière catégorie. La même déclinaison peut être faite avec déductivisme, réalisme et idéalisme.

Jacques Désautels et Marie Larochelle (1989, 1993) ont bien montré, dans un ensemble de publications, que l'approche du réel chez les adolescents ainsi que chez les enseignants était essentiellement de nature réaliste, analyses qui confirment des données personnelles (Darley, 1993). L'objet d'étude existe bien en soi puisque je peux le voir sur la table ou le mettre en évidence au travers de l'enregistrement de ses manifestations. Même si le débat entre réalistes et idéalistes dépasse de beaucoup les objectifs pédagogiques prioritaires que l'on peut se donner dans l'enseignement scientifique expérimental, on peut cependant supposer que cette approche réaliste n'est pas étrangère à la présentation très «phénoménologique» de la démarche scientifique que l'on retrouve communément dans les classes et les manuels.

2. ENSEIGNER LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

C'est une chose que d'analyser la démarche d'un point de vue épistémologique, une autre que de mettre cette démarche en pratique dans une classe, et une autre encore que d'en faire un objet d'apprentissage. Le problème qui se pose est, en effet, de savoir s'il est possible, à l'instar des savoirs, de proposer une transposition didactique d'une pratique sociale, celle du chercheur en l'occurrence.

Pour que cela soit possible, comme tout objet d'enseignement, il devra posséder un statut social qui le fasse reconnaître comme pertinent par la communauté scientifique comme par la noosphère. Il devra satisfaire, d'une part, aux critères de scientificité nécessaires pour satisfaire la première, d'autre part aux critères de dépersonnalisation-décontextualisation et de programmabilité pour répondre aux contraintes de la théorie de la transposition didactique telle qu'elle a été définie par Yves Chevallard (1985).

À la suite de ce qui a été développé ci-dessus, je définirai **la démarche scientifique à transposer** comme étant l'ensemble des procédures faisant, pour l'essentiel, appel à la pensée convergente. En éliminant les processus où intervient principalement la pensée divergente (capacité à imaginer les termes du problème, le choix de l'approche, l'intégration dans un ensemble

de systèmes, etc.), on élimine tout ce qui peut être ramené à une composante personnelle caractéristique de chaque chercheur, non «dépersonnalisable», et de ce fait non transposable. En centrant la transposition sur les procédures de test (test du problème par l'élaboration d'hypothèses et test des hypothèses par l'élaboration d'un protocole expérimental), on limite le domaine d'apprentissage à la maîtrise de la pensée rationnelle. Qu'il s'agisse d'élaborer des hypothèses et de tester expérimentalement leurs conséquences théoriques en réponse à un problème dont on aura préalablement défini le domaine d'investigation ; ou encore d'élaborer un protocole expérimental en définissant avec rigueur le matériel d'expérimentation, les techniques et les appareils nécessaires, la chronologie et le protocole de recueil des données, le protocole de traitement de ces données et l'interprétation que l'on donnera des résultats dans le champ d'application du modèle qui sous-tend l'hypothèse ; toutes ces étapes nécessitent la mise en œuvre d'une pensée convergente, rationnelle, intégrant un nombre plus ou moins grand de paramètres imposés par l'énoncé même du problème.

On retrouve là la procédure d'analyse d'une problématique, et de test des hypothèses qui en découlent, utilisée classiquement par l'ensemble de la communauté scientifique, quelle que soit l'école philosophique dont elle se réclame. Cette procédure est, aussi, suffisamment généralisée pour ne pas être celle d'une personne ou d'un contexte en particulier. Elle peut, enfin, se découper en étapes chronologiquement liées. Cet ensemble de conditions la rend conforme aux exigences définies plus haut et lui permet d'accéder au rang d'objet transposable didactiquement dans une situation d'enseignement.

Même si ces exigences peuvent paraître contraignantes, elles ne déboucheront pas forcément vers des situations d'enseignement uniformisées, clones répétitifs d'un modèle unique. Des propositions originales peuvent toujours apparaître lors de la formulation des hypothèses ou lors de l'élaboration du protocole, contribuant ainsi à la diversité des solutions possibles ; celles-ci sont cependant confinées dans un champ d'application qui reste le même pour l'ensemble de la classe et permet une gestion pédagogique de la séance. Ce qui ne pourrait pas être le cas si chaque étudiant avait la possibilité de proposer sa propre formulation du problème. Se mettre d'accord, préalablement à toute procédure de test, sur le problème que l'on souhaite traiter au sein de la communauté scientifique que constituera la classe et exploiter au mieux une situation toujours très, souvent trop, riche sans la diversifier inutilement fait partie des contraintes qui s'imposent à toute communauté scientifique.

L'appel à l'imagination, s'il reste apparemment très limité, n'est toutefois pas absent comme on le verra plus bas au travers de quelques exemples.

2.1. Rappel de l'existant

L'analyse de soixante-quatre protocoles de TP associée à des entretiens avec des enseignants confirment les analyses faites par d'autres auteurs (Giordan, 1978 ; Johsua, 1985 ; M.-A. Johsua & S. Johsua, 1987a, 1987b ; Develay, 1989 ; Grosbois et al., 1992 ; Johsua & Dupin, 1993 ; Orlandi, 1993) qui montraient combien était privilégié le canevas narratif de la démarche scientifique. L'absence de problématisation des protocoles est une règle quasi générale. L'action (la manipulation) est survalorisée et imposée comme pertinente sans jamais être justifiée d'un point de vue théorique (modèle mobilisé, hypothèses associées...). Elle apparaît comme l'élément premier et spontané de la démarche de recherche : ouvrir ses yeux et manipuler d'abord, recueillir les indices et réfléchir ensuite. Les étudiants sont ainsi conduits à suivre une «histoire» où une manipulation va leur permettre de recueillir des indices dont «l'interprétation» (selon le terme consacré) les conduira, quasi simultanément, à formuler le problème sous-jacent et à lui apporter les réponses adéquates. Si ce problème est celui attendu par l'enseignant, et que les réponses apportées sont conformes aux connaissances préalablement transmises, l'étudiant aura franchi le parcours sans faute. L'enseignant attend de l'étudiant qu'il se comporte comme un parfait petit Sherlock Holmes, recueillant avec justesse les indices pertinents, sans attacher le moindre regard aux autres (ce qui ne peut se concevoir que lorsque l'on connaît, à l'avance, la chute de l'histoire). Les étudiants, face à cette attente, vont se comporter comme de bons investigateurs «ingénus» et recueillir tous les observables qu'ils seront capables d'identifier, sans qu'aucun cadre théorique préalablement défini ne permette de juger de leur pertinence. L'objectivité du chercheur devient ainsi, aux yeux des étudiants, sa capacité à recueillir tous les indices sans préjugés et non plus sa capacité à juger de l'adéquation du modèle testé à la lumière des résultats expérimentaux que ce dernier permettait d'anticiper.

Ce glissement épistémologique serait tolérable si la construction didactique qui y conduit le justifiait au nom d'objectifs d'apprentissage clairement identifiés et, surtout, si ce type de construction n'avait pas une position hégémonique dans nos enseignements pratiques. L'absence des premiers et la réalité de la seconde rend urgente toute tentative susceptible de conduire à une meilleure explicitation des objectifs ainsi qu'à un rééquilibrage des pratiques. Plus que la procédure même, qui en vaut largement une autre, c'est bien cette absence d'objectifs pédagogiques clairement définis qui la rend critiquable.

2.2. Cadre théorique pour une alternative possible

Une alternative à ces pratiques consiste à proposer aux étudiants des protocoles de TP où l'expérimentation devient une réelle procédure de test pour des hypothèses préalablement formulées et discutées. Ce qui conduit à associer au protocole manipulateur un problème préalable, clairement formulé dans un cadre théorique lui-même clairement circonscrit. Aux étudiants ensuite d'élaborer la problématique associée en fonction des données théoriques qui leur sont fournies. Cette problématique doit les conduire à proposer des anticipations sur les résultats qui seront autant de réponses possibles au problème. Anticipations qui devront, sous peine de nullité, être testables expérimentalement.

Pour mener à bien cette transposition didactique, cinq difficultés majeures ont été identifiées. La première difficulté réside dans ce que Guy Brousseau (1986) appelle la dévolution du problème. Ce qui peut prendre des mois chez le chercheur (trouver de la pertinence et de l'intérêt à résoudre un problème donné) doit être ramené, dans le cadre d'un enseignement, à quelques minutes le plus souvent, à quelques dizaines de minutes dans le meilleur des cas.

La seconde difficulté va se poser en terme de crédibilité du problème proposé. Présenter à des étudiants comme original un problème dont ils trouveront la réponse dans le premier ouvrage venu n'est pas la meilleure manière de les inciter à réfléchir. Le problème doit donc être un vrai problème, dans lequel l'étudiant doit pouvoir s'investir en pensant que sa solution sera originale et digne d'intérêt.

La troisième difficulté réside dans le fait que les hypothèses proposées doivent être testables expérimentalement et en toute autonomie par l'étudiant. Dans le cas contraire, c'est de nouveau l'enseignant qui se retrouverait maître du jeu. Le protocole expérimental associé aux hypothèses doit donc être suffisamment simple sans toutefois être simpliste.

La quatrième difficulté est de pouvoir amener les étudiants à avoir une analyse critique du travail effectué, à remettre en cause des résultats expérimentaux sans rejeter l'ensemble du fonctionnement de la science, à prendre conscience, enfin, de la dimension sociale, négociée, du savoir scientifique. À trop vouloir faire que les expériences «marchent», on court en effet le risque de jeter le discrédit sur l'ensemble de la discipline lorsque l'on proposera aux étudiants des expérimentations dont le résultat ne sera pas exactement celui décrit dans le cours ou les manuels.

La dernière difficulté, enfin, est d'arriver à concilier l'ensemble de ces contraintes didactiques avec les contraintes institutionnelles et techniques auxquelles l'enseignement pratique est confronté.

3. LE CHOIX DU CONCEPT-SUPPORT

Pour des raisons diverses qu'il serait fastidieux d'énumérer ici, le choix s'est porté sur le concept de potentiel d'action, que l'on peut définir comme la réponse élémentaire d'une fibre nerveuse à toute stimulation supra-liminaire. Ce concept fait l'objet, dans l'enseignement de premier cycle universitaire, d'une étude à deux niveaux anatomiques distincts : celui de la membrane des fibres nerveuses (ou de son ultra-structure) lors des cours magistraux ; celui de l'organe (c'est-à-dire du nerf) en travaux pratiques.

Lorsque ce travail a débuté, son enseignement consistait à décrire et à comparer, d'un point de vue théorique, les deux types de potentiels d'action (celui enregistré au niveau de la membrane d'une fibre ou potentiel d'action d'une fibre, et celui enregistré au niveau de l'enveloppe d'un nerf, ou potentiel d'action nerveux), avant de proposer aux étudiants un TP d'illustration portant sur la réponse de l'organe, c'est-à-dire du nerf.

La similitude du vocable utilisé («potentiel d'action d'une fibre» et «potentiel d'action nerveux») ainsi que la similitude graphique de certains enregistrements proposés pour caractériser l'un et l'autre, entraînent très souvent, chez les étudiants, une confusion entre le premier phénomène, caractérisant d'une façon très précise le fonctionnement d'une unité nerveuse, et le second qui n'est rien d'autre qu'un bruit de fond lié à l'activité d'un organe composite. Cette confusion entre deux niveaux d'interprétation et de signification physiologique des phénomènes électriques associés à la propagation d'un message nerveux constitue un obstacle majeur à l'appropriation du concept. Il y avait donc là un double enjeu d'apprentissage : cognitif d'une part et méthodologique d'autre part.

La solution proposée à ce problème a été d'inviter les étudiants à élaborer leur(s) propre(s) construction(s) théorique(s) du potentiel d'action nerveux à partir des données relatives au potentiel d'action d'une fibre et de procéder, ensuite, au test expérimental de leurs assertions. Cette démarche avait le double intérêt de les sensibiliser d'abord à la dimension sommative du potentiel d'action nerveux, par opposition à la dimension unitaire du potentiel d'action de la fibre (le potentiel d'action nerveux étant représentatif du fonctionnement du nerf, il est donc la résultante des phénomènes électriques associés à l'activité des éléments qui le constituent), et de les amener ensuite à proposer des constructions théoriques argumentées préalablement aux tests expérimentaux. Ceci à l'inverse de ce qu'on leur demande généralement de faire, à savoir mettre en évidence expérimentalement, **avant** de l'interpréter, un phénomène biologique à l'aide d'un protocole idoine et d'un appareillage qui produira, comme par hasard, l'observable attendu (à condition, bien entendu, que l'étudiant manipule «correctement», c'est-à-dire suive scrupuleusement le protocole).

Cette demande d'une anticipation explicite et argumentée du résultat attendu s'est révélée être, pour les étudiants, une approche du TP en rupture totale avec leurs habitudes.

4. CONSTRUCTION PÉDAGOGIQUE DE LA SÉQUENCE

La séquence proposée a été découpée en cinq étapes pédagogiques :

1 – un temps de contextualisation du problème, comprenant l'énoncé global du problème (quel est le mode de fonctionnement d'un nerf ?) et l'exposé des données minimum sur le fonctionnement du potentiel d'action d'une fibre ;

2 – un temps de dévolution du problème, au cours duquel les étudiants sont clairement informés de ce que l'on attend d'eux et se voient poser un problème clairement identifié ;

3 – un temps de réflexion et de formulation personnalisée des réponses possibles ;

4 – un temps d'exposition des conjectures et de validation expérimentale ;

5 – un temps de confrontation des résultats obtenus et de formulation commune d'une proposition de réponse.

Les temps 1 et 2 sont regroupés dans un TD de deux heures. Le temps 3 correspond au délai de quinze jours qui sépare généralement le TD du TP. Quant aux temps 4 et 5, ils correspondent à une séance de TP de quatre heures. Le temps pédagogique, et c'est l'une des contraintes que nous nous sommes imposées, est le même que dans la formule antérieure ; mais la démarche, de strictement expositive et monstrative, devient problématisée.

Cette démarche ne doit pas simplement se traduire par un changement de forme, elle impose aussi un changement du rôle de l'enseignant qui doit apparaître davantage comme un partenaire que comme le recours suprême dont on attend tout. Si l'on veut que les étudiants traitent leur problème de façon personnelle et prennent conscience de la dimension négociée de tout savoir scientifique, l'enseignant doit se tenir en retrait, tout en veillant à ce que soient prises en compte, à égalité d'importance, toutes les propositions faites par les étudiants afin de ne pas orienter le débat du seul fait de son autorité. Les étudiants ayant à critiquer leurs assertions en fonction de leurs résultats expérimentaux, la cohérence interne de leur discours doit être sans faille, quelles que soient les conclusions auxquelles ils arrivent. L'objectif du TP n'est donc pas tant que les étudiants trouvent le «bon»

résultat (ce que l'enseignant pourra corriger *a posteriori*), mais bien davantage qu'ils s'initient à l'analyse critique de leurs anticipations au regard des résultats expérimentaux.

5. ANALYSE DES RÉSULTATS

L'ambition de ces premières expérimentations était de tester la faisabilité d'une telle procédure avant d'en mesurer les impacts éventuels sur l'aspect cognitif des apprentissages.

Quel accueil les étudiants allaient-ils réserver à ce type d'exercice ? Quelle serait leur implication ? Quel serait le niveau de leurs productions ? Telles paraissaient être les premières questions auxquelles il nous fallait apporter une réponse avant d'aller au-delà.

5.1. L'accueil du problème par les étudiants

On ne peut pas dire que l'accueil du problème proposé à la fin du TD ait soulevé un enthousiasme sensible chez les étudiants. Il s'agit d'une démarche qui les déroutait puisqu'ils sont davantage habitués à sortir de TD avec quelques certitudes supplémentaires que d'en repartir avec un problème dont on leur a dit qu'ils ne trouveraient nulle part la solution-type. Le premier sentiment perceptible est donc celui d'une inquiétude manifeste (et parfois clairement manifestée). L'intérêt pour le jeu qui leur a été proposé apparaît quelque temps plus tard lorsque des embryons de solutions sont formulés. Ce travail de réflexion change complètement leur manière d'aborder le TP. Après avoir exposé leurs propositions et suivi attentivement celles des autres groupes en début de séance, la vérification expérimentale s'impose alors à eux comme une nécessité et non plus comme un exercice formel.

5.2. Le niveau de production

Le niveau de production est souvent étonnant. Il ne peut, bien sûr, être d'un haut niveau scientifique puisque les étudiants n'ont pas encore totalement intégré les savoirs qui font l'objet du TP. Ce qui prime est la très grande variété des propositions. En dehors d'une minorité d'étudiants qui se sont, en pure perte, attachés à plagier les ouvrages de référence à la recherche d'une réponse qu'ils ne pouvaient y trouver, la majorité des productions fait état, à la fois, d'une grande imagination et, très souvent, d'une rigueur à laquelle nous ne nous attendions pas.

L'imagination est un critère qui nous a semblé important dans la mesure où les enseignants reprochent trop fréquemment aux étudiants leur conformisme. De même, la rigueur qui accompagne la plupart des productions est significative des potentialités de raisonnement scientifique que les étudiants de premier cycle sont capables de montrer. Pour que cette rigueur s'exprime complètement, il nous a paru nécessaire d'imposer aux étudiants le passage par l'écrit. Rien ne pourra être soumis à discussion ou proposé comme solution qui n'aura été rédigé en termes propres à être communicables et compréhensibles par tout le groupe. Ce principe de base de la construction des savoirs scientifiques doit impérativement être une règle incontournable lors de ce type d'exercice en classe.

Parmi les hypothèses les plus fréquemment proposées, on trouve l'additivité et la non-additivité des manifestations électriques des neurones. Dans le premier cas la réponse du nerf est directement proportionnelle, à un moment donné, au nombre de fibres nerveuses stimulées. On a alors, en fonction de l'intensité de stimulation utilisée, une réponse d'amplitude variable. Dans le second cas les potentiels d'action ne s'additionnent pas ; ils se placent, disent les étudiants, «*les uns derrière les autres*», comme la première feuille de papier qui masque toutes les feuilles de la ramette. Conséquence immédiate : la réponse du nerf est constante quelle que soit l'intensité de stimulation puisqu'une seule fibre recrutée entraîne une réponse maximale. À ces deux hypothèses de base viennent se greffer des hypothèses complémentaires prenant en compte les différentes catégories de fibres nerveuses et leurs vitesses de propagation respectives. On aura, ainsi déclinée, toute une série d'enregistrements possibles. Mais l'une des hypothèses les plus étonnantes fut celle émise par un étudiant qui proposa que la grandeur additive n'était pas l'amplitude des potentiels mais leur durée. La réponse du nerf devenait donc un enregistrement d'amplitude égale à celle du potentiel d'action d'une fibre mais d'une durée proportionnelle au nombre de fibres stimulées. Ce qu'il envisageait de vérifier expérimentalement, tout en ne pensant pas, disait-il, que cette hypothèse soit très raisonnable compte tenu du fait que toutes les fibres étaient stimulées au même moment. La consigne était de traiter rationnellement toute hypothèse et de lui associer un test expérimental ; ce qu'il fit fort bien.

À titre d'exemple de production, le protocole n° 35 (voir figure 1) élaboré par un groupe de trois étudiants, reflète bien la diversité des hypothèses envisageables avec les données du problème. Dans ce protocole, trois facteurs ont été pris en compte : la durée, la vitesse de propagation et l'amplitude des PA (potentiels d'action). Sept hypothèses sont proposées, correspondant aux différents cas possibles. Les réglages des calibres de l'oscilloscope accompagnent chacune des propositions ainsi qu'une approximation quantitative des résultats. Les enregistrements anticipés sont bien détaillés et permettent de comprendre comment la

résultante a été obtenue, même si les résultats proposés ne sont pas toujours exacts. Cette résultante a été soit construite comme une courbe englobante (hypothèses 1, 4 et 5), soit comme une valeur moyenne (hypothèses 2 et 3), mais jamais comme la résultante d'une sommation d'amplitudes de PA.

5.3. Analyse quantitative des productions

72 protocoles ont été élaborés par les 190 étudiants concernés ; 26 proviennent d'étudiants isolés, 46 ont été préparés par des groupes de 2 à 6 étudiants.

Les critères d'analyse ont été les suivants :

- 1 – le protocole proposé répond-il ou non à un problème explicite ?
oui : 86% non : 14%
- 2 – les hypothèses sont-elles ou non posées ?
oui : 92% non : 8%
- 3 – quel est le nombre d'hypothèses envisagées ?
0 : 8% 1 : 31% 2 ou 3 : 26% ≥ 4 : 35%

Deux protocoles présentent un maximum de 13 et 14 hypothèses proposées.

- 4 – quel est le nombre de facteurs pris en compte (maximum abordables à leur niveau : 4) ?
0 : 8% 1 : 49% 2 : 19% 3 : 18% 4 : 5%
- 5 – les résultats proposés sont-ils ou non quantifiés ?
oui : 54 % non : 46%

On peut retenir de ces données que les étudiants sont, dans leur grande majorité, capables de rappeler le problème et les hypothèses qui fondent leurs propositions de protocoles et d'envisager un nombre conséquent d'hypothèses testables expérimentalement en relation avec les facteurs identifiés. La quantification des résultats reste, pour beaucoup, une difficulté non négligeable.

Protocole 35

POTENTIEL D'ACTION NERVEUX

anatomie d'un nerf = ensemble de X fibres

signal enregistré = ensemble des signaux des X fibres

propriétés individuelles des fibres :- fibres myélinisées ou non --> vitesse de conduction

- une amplitude de réponse à l'excitation

- une durée de la réponse

- taille des fibres --> vitesse de conduction

HYPOTHÈSE 1

fibres avec : même durée de "réponse"
 même amplitude
 vitesses de conduction différentes

Résultats : vitesses de conduction différentes pour chaque fibre

- durée du PA plus long ou plusieurs pics si

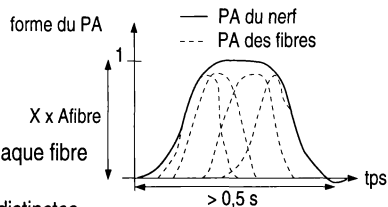
grande différence et fibres divisées en catégories bien distinctes

= Σ des PA des X fibres qui seront différents dans le temps

- Amplitude du PA nerf = Amplitude fibres x nb de fibres

- forme : différente de l'overshoot

calibre de l'oscillo : $A = X \text{ mV}$, temps : div = 0,5 ms



HYPOTHÈSE 2

fibres avec : même durée de "réponse"
 amplitudes différentes
 mêmes vitesses de conduction

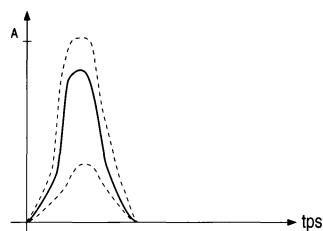
Résultats : forme de l'overshoot

durée de l'overshoot

amplitude < amplitude de l'overshoot de X fibres

si $A \ll X$ fibres alors grosse différence entre les fibres

calibre oscillo : tps = 0,1ms/div A = 5V/div



HYPOTHÈSE 3

fibres avec : durées de "réponse" différentes
 même amplitude
 mêmes vitesses de conduction

Résultats : forme de l'overshoot

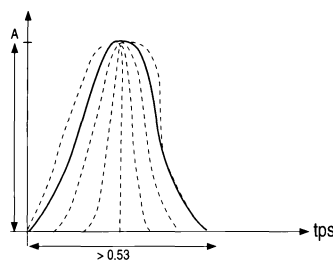
amplitude de l'overshoot x X fibres env.

durée > durée de l'overshoot

période réfractaire fortement marquée

si nb de fibres avec durée max fortement marqué

calibre oscillo : $A = 5V/div$ tps = 0,5 ms/div

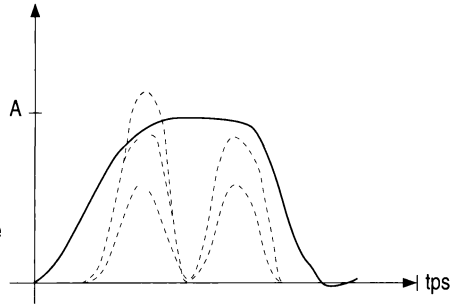


HYPOTHÈSE 4

fibres avec : vitesses de conduction différentes
 A différentes
 même durée de réponse

Résultats : - $A < A$ de X fibres
 - durée > durée overshoot
 - forme différente overshoot
 - période réfractaire + ou - marquée

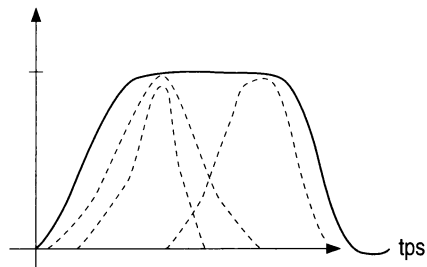
calibre oscillo : tps = 1s/div A = 5V/div



HYPOTHÈSE 5

fibres avec : - vit. de cond. différentes
 - durées de réponse dif.
 - A identiques

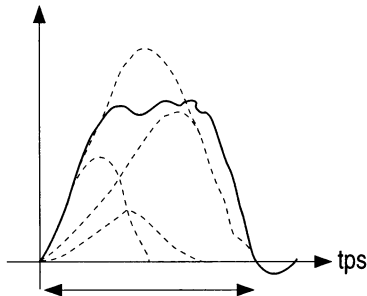
Résultats : A = A de X fibres
 durée = hyp 4 et hyp 3
 forme différente de l'overshoot



HYPOTHÈSE 6

fibres avec : - mêmes vit. de cond
 - durées de réponse différentes
 - A différentes

Résultats : $A < A$ de X fibres
 durée > durée overshoot
 forme différente de l'overshoot



HYPOTHÈSE 7

fibres avec : - vit. de cond. différentes
 - durées de réponse différentes
 - A différentes

Résultats : A différente de l'overshoot
 durée > overshoot
 forme différente de l'overshoot

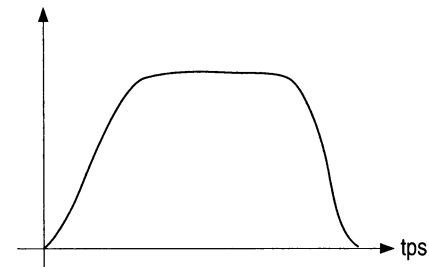


Figure 1 : Exemple de production d'étudiants (protocole n° 35)

6. QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION

Au-delà des productions et de l'analyse que l'on pouvait en faire, il nous est apparu opportun de faire remplir, par les étudiants, un questionnaire d'évaluation sur la manière dont ils avaient perçu ce TP et sur ce qu'ils en avaient retiré. Ce questionnaire, anonyme, a été diffusé auprès de 120 étudiants environ ; 82 ont pu être analysés, ce qui représente un peu moins de la moitié des étudiants concernés mais constitue, néanmoins, un échantillon suffisamment important pour être représentatif.

6.1. Les réponses au questionnaire

Les résultats sont exprimés en pourcentages arrondis à l'unité la plus proche.

Qu'avez-vous pensé de la façon dont le potentiel d'action était présenté cette année? Était-ce :

- | | | | |
|-----------------------|-----|--------------------|----|
| – complètement confus | 10% | – peu intéressant | 9% |
| – intéressant | 76% | – très intéressant | 5% |

Le fait de réfléchir avant le TP sur ce que vous alliez devoir trouver a rendu le TP :

- | | | | |
|-----------------------|-----|--------------------|-----|
| – complètement confus | 6% | – peu intéressant | 5% |
| – intéressant | 73% | – très intéressant | 16% |

La recherche a priori des différentes formes possibles du PA est un exercice qui vous a paru :

- | | | | | | | | |
|------------------|------|---------------|-----|--------------------|-----|---------------|----|
| – très difficile | 5% | – difficile | 66% | – facile | 16% | – très facile | 0% |
| – sans intérêt | 3,7% | – intéressant | 60% | – très intéressant | 6% | | |

La recherche des différentes formes possibles du PA vous a :

- complètement embrouillé l'esprit 6%
- rien apporté du tout 4%
- amusé 18%
- permis de mieux comprendre la différence entre PA fibre et PA nerf 62%
- demandé trop de temps pour un gain nul ou très faible 20%

Lors des manipulations du premier TP, pour vous, il y avait :

- un enjeu parce que vous aviez l'impression de pouvoir vérifier vos prévisions 62%
- aucun enjeu parce que, de toutes façons, vous saviez ce que vous alliez obtenir 24%

Lors de la mise en commun des résultats avez-vous eu l'impression :

- que vos résultats n'avaient aucun intérêt **16%**
- qu'il n'y a pas eu de discussion sur vos propositions **22%**
- de participer à un débat où chacun pouvait défendre ses résultats et ses interprétations **54%**

Pensez-vous que ce genre de TP :

- est sans intérêt parce qu'il n'apprend rien **1%**
- est sans intérêt parce qu'on n'y comprend rien **10%**
- devrait être plus fréquent **18%**
- est intéressant parce qu'il fait réfléchir **55%**
- est intéressant parce qu'on a l'impression de participer à une recherche **17%**

Libre opinion : avez-vous des choses à ajouter sur l'intérêt ou l'absence d'intérêt de ce TP (par rapport à l'an dernier, par exemple, pour les redoublants) ?

6.2. Analyse des réponses

Si 81% des étudiants ont jugé cet ensemble TD/TP intéressant ou très intéressant, ils sont quand même 19% à l'avoir trouvé complètement confus ou peu intéressant. Ce résultat, encourageant pour une première tentative, indique néanmoins que près d'un cinquième des étudiants n'ont pas été satisfaits et que la forme mérite d'être encore travaillée. Ce résultat est à rapprocher de ceux obtenus aux questions portant sur l'apport de la réflexion *a priori* et de la mise en commun des propositions. 9% des étudiants pensent que cette présentation ne leur a rien apporté, voire complètement embrouillé l'esprit, 16% ont eu l'impression que leurs résultats n'avaient aucun intérêt et 22% qu'il n'y a pas eu de discussion sur leurs propositions. Dernier chiffre qui est à rapprocher des 20% qui reprochent à cet exercice de leur avoir demandé beaucoup de travail pour un gain nul ou très faible. Ces résultats négatifs mettent nettement en cause l'exploitation insuffisante et le manque de valorisation de leur travail lors de l'introduction du TP. Il est donc important que les enseignants rendent ce travail crédible en accordant à l'exposé des propositions et à leur discussion le temps nécessaire pour que les étudiants voient leur travail suffisamment valorisé, même s'il est critiqué.

Il en est de même pour la phase de dévolution du problème. Pour que ce dernier soit crédible, il doit donner aux étudiants l'impression qu'ils ont un réel travail de réflexion à produire, travail qui doit dépasser le simple exercice formel. Le fait que 24% des étudiants interrogés n'aient senti

aucun enjeu dans leur travail montre combien cette phase de transfert et de crédibilité du problème proposé est délicate. On ne peut, certes, éliminer la difficulté posée par les redoublants qui «connaissent» la réponse pour avoir pratiqué ces TP l'année précédente, même si la présentation en était différente ; je n'ai, hélas, pas de réponses satisfaisantes à apporter dans l'immédiat. Cela n'évacue pas pour autant cette question mais impose, bien au contraire, que l'on y réfléchisse.

Le résultat le plus négatif est, sans aucun doute, le fait que 10% des étudiants trouvent ce TP sans intérêt parce qu'ils n'y ont rien compris. C'est un problème de fond qui méritera que l'on s'y arrête les années prochaines. S'agit-il d'un obstacle lié au concept ? à la prise en main du matériel ? Est-ce la présentation telle qu'elle a été proposée cette année qui a entraîné des confusions ? Et dans ce dernier cas, lesquelles ?

L'exercice de réflexion *a priori* a été ressenti comme difficile, voire très difficile par 71% des étudiants. 16% seulement ont trouvé ce travail facile et 18% disent s'y être amusés. Ces réponses sont intéressantes à deux niveaux :

– le premier, c'est de constater que des étudiants peuvent trouver du plaisir à effectuer une tâche. C'est une satisfaction trop rare pour que l'on ne la relève pas ;

– le second concerne la difficulté ressentie. Elle est bien l'indice que cette tâche de construction *a priori*, d'anticipation des résultats à partir des conséquences tirées d'une hypothèse, qui est l'une des bases de toute activité scientifique, est une activité complexe qui mérite que son apprentissage soit initié aussi tôt que possible. Cette activité de réflexion, avant le TP, a été trouvée intéressante ou très intéressante par 89% des étudiants, 62% ont perçu un enjeu lors de la phase expérimentale et 54% ont eu l'impression de participer à un débat où chacun pouvait défendre ses résultats et ses interprétations, 17% acceptant l'analogie avec une initiation à la recherche. Ces résultats sont à rapprocher des 61% de protocoles qui présentaient un nombre d'hypothèses envisagées supérieur ou égal à 2 (le record à ce jour étant détenu par un protocole qui en proposait 14).

Enfin, 62% des étudiants disent que ce TP les a aidés à mieux comprendre la différence entre PA fibre et PA nerveux. Même si ce n'était pas l'objectif premier de cette expérimentation (ce dernier étant, je le rappelle, de tester la capacité des étudiants à produire une anticipation sur un phénomène), il lui est tellement associé qu'il est difficile de ne pas en faire état. La capacité de ce travail de résolution de problème à mieux faire percevoir le concept de potentiel d'action aux étudiants méritera, maintenant que la preuve est faite de sa faisabilité, une évaluation beaucoup plus rigoureuse que celle qui est rapportée ici. Il s'agit d'un travail complexe, qui

nécessite un protocole finement élaboré mettant en jeu un grand nombre de variables, et qui dépasse le cadre de ce travail mais qui en est, aussi, le prolongement direct.

Onze étudiants seulement ont utilisé l'espace «libre opinion». Deux sont négatifs. Le premier trouve que l'on n'a pas besoin de passer autant de temps sur ce problème, même s'il indique que ce TP lui a permis de mieux comprendre la différence entre les deux types de PA et qu'il l'a trouvé intéressant dans son ensemble. Le second, quant à lui, a trouvé ce TP «*non seulement sans intérêt, mais de plus cruel et dégradant, une expérience que je souhaiterais ne jamais avoir connue. Les expériences, conclut-il, n'ont aucun intérêt et, de plus, ne marchent presque jamais*». On peut penser que l'allusion à l'aspect dégradant concerne l'aspect vivisection de l'utilisation de grenouilles «cliniquement» mortes mais physiologiquement toujours «vivantes». Quant à la réflexion sur les expériences «*qui ne marchent presque jamais*», elle est caractéristique d'une vision monstrative de l'expérimentation qui, pour être crédible, doit reproduire fidèlement les données théoriques vues en cours.

Huit étudiants expriment des opinions plutôt positives, trouvant le TP intéressant même s'il demande des efforts. Trois souhaitent une mise en commun systématique des résultats en fin de TP, trois également font état de leur difficulté à maîtriser le matériel.

Le dernier, enfin, exprime une opinion très pragmatique : «*j'espère seulement, écrit-il, que l'examen sera un moyen d'avoir des points pour le DEUG et non le contraire*». C'est tout ce que l'on peut lui souhaiter.

CONCLUSION

Il peut être nécessaire, avant de conclure, de rappeler la modestie des objectifs de cette séquence d'enseignement. Il s'agissait de proposer aux étudiants une approche différente d'un phénomène en les mettant en situation de construire, *a priori*, une ou plusieurs représentations possibles. Pour cela il fallait s'assurer qu'ils accepteraient :

- de passer du temps sur un problème non «rentabilisé» par une note ou par l'acquisition d'une connaissance rapidement réinvestissable lors d'un contrôle. En d'autres termes, était-il possible de rompre la coutume en troquant un apprentissage factuel réinvestissable à court terme contre un travail de pure réflexion ?

- de laisser libre cours à leur imagination pour envisager un maximum de cas possibles tout en rassemblant ces propositions dans un cadre

cohérent.

Ces deux préalables conditionnent tout le reste, à savoir leur participation en TP et lors de l'exposé public de leurs productions ; leur motivation à vérifier si leurs propositions sont, ou non, valides ; leur volonté de comprendre pourquoi leurs propositions, si logiques dans l'ensemble, n'étaient pas expérimentalement vérifiées ; leur envie, enfin, d'aller au-delà du simple relevé d'un enregistrement oscillographique en tentant d'en comprendre la réelle signification.

Avec 86% de protocoles qui présentent, peu ou prou, une tentative de raisonnement *a priori*, on peut estimer que les deux objectifs rappelés ci-dessus ont été atteints. Ces résultats, ainsi que ceux exprimés dans le questionnaire d'évaluation, sont encourageants dans la mesure où ce TP est perçu plutôt positivement, alors que les étudiants ont généralement des réactions très prudentes vis-à-vis de tout ce qui est, ou serait, susceptible de modifier les modalités de leur certification.

Ils ne doivent cependant pas faire oublier les critiques émises par certains étudiants à propos d'une prise en compte insuffisante de leurs propositions par les enseignants. Il s'agit là, pour l'essentiel, d'un travail de coordination et de concertation entre ces derniers ; de prise de conscience commune, également, de l'importance de l'apprentissage méthodologique qui se trouve en jeu.

Cette expérimentation est la deuxième à tester le cadre théorique rapidement décrit au début du paragraphe 4. La première s'était déroulée dans une classe de troisième des collèges avec comme concept-support la digestion de l'amidon par l'amylase salivaire. Les conclusions générales ont été identiques, à savoir une grande motivation des élèves pour le problème posé, une grande variété d'hypothèses proposées, des protocoles expérimentaux généralement cohérents et une grande rigueur dans leur mise en œuvre. Un second TP de niveau universitaire et une séquence de niveau première sont actuellement en cours de préparation sur le même modèle.

Malgré la fonctionnalité apparente de ce canevas, il est pourtant hors de question d'en faire un modèle universel pour l'enseignement scientifique de la biologie ; ce serait contraire au principe de la nécessité de développer la variété des approches qui est le fondement de toute science expérimentale. Tout au plus s'agit-il d'une alternative possible, parmi d'autres à rechercher, aux modèles expositifs et monstatifs, qui ont certes leurs fonctions, mais qui sont, il faut le reconnaître, quelque peu envahissants dans l'enseignement actuel de la biologie.

BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD G. (1970). *Le rationalisme appliqué*. 1^{ère} éd. 1949. Paris, PUF.
- BACHELARD G. (1972). *L'engagement rationaliste*. Paris, PUF.
- BACHELARD G. (1983). *La formation de l'esprit scientifique*. 1^{ère} éd. 1938. Paris, Vrin.
- BACHELARD G. (1984). *Le nouvel esprit scientifique*. 1^{ère} éd. 1934. Paris, PUF.
- BERNARD C. (1984). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. 1^{ère} éd. 1865. Paris, Flammarion.
- BLANCHÉ R. (1969). *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*. Paris, Armand Colin.
- BROUSSEAU G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 7, n° 2, pp. 33-115. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- CHALMERS A. (1976). *Qu'est-ce que la science ?* 1^{ère} éd. 1976. Paris, La Découverte.
- CHALMERS A. (1990). *La fabrication de la science*. Paris, La Découverte.
- CHEVALLARD Y. (1985). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- COMTE A. (1989). *Cours de philosophie positive*. 1^{ère} éd. 1842. Paris, Nathan.
- DARLEY B. (1993). Options épistémologiques exprimées par les enseignants-chercheurs et les enseignants du secondaire sur la démarche expérimentale. In A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg (Eds), *Actes des XV^{es} Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, UF de didactique des disciplines, pp. 537-544.
- DARLEY B. (1994). *L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux pratiques de biologie, analyses et propositions*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble 1.
- DÉSAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique ?* Québec, Presses de l'Université Laval.
- DÉSAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1993). Constructivistes au travail : propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de la science. *Aster*, n° 17, pp. 13-40.
- DEVELAY M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, n° 8, pp. 3-15.
- FAVRE D. & RANCOULE Y. (1992). Modéliser la démarche scientifique pour pouvoir l'enseigner. In A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg (Eds), *Actes des XIV^{es} Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, UF de didactique des disciplines, pp. 221-226.
- GIORDAN A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris, Le Centurion.
- GROSBOIS M., RICCO G. & SIROTA R. (1992). *Du laboratoire à la classe, le parcours du savoir, étude de la transposition didactique du concept de respiration*. Paris, ADAPT.
- JOHSUA S. (1985). *Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai de didactique expérimentale)*. Thèse d'état, Université d'Aix-Marseille.
- JOHSUA M.-A. & JOHSUA S. (1987 a). Le fonctionnement didactique de l'expérimental dans l'enseignement scientifique. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 8, n° 3, pp. 231-266.
- JOHSUA M.-A. & JOHSUA S. (1987b). Le fonctionnement didactique de l'expérimental dans l'enseignement scientifique. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 9, n° 1, pp. 5-27.

- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- KREMER-MARIETTI A. (1982). *Le Positivisme*. Collection «Que sais-je?» n° 2034. Paris, PUF.
- KREMER-MARIETTI A. (1984). Positivisme. In *Encyclopædia Universalis*, pp. 803-806.
- KUHN T. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. 1ère éd. 1970. Paris, Flammarion.
- LATOURE B. (1989). *La science en action*. Paris, La Découverte.
- LATOURE B. & WOOLGAR S. (1988). *La vie de laboratoire*. Paris, La Découverte.
- ORLANDI É. (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster*, n° 13, pp. 111-132.
- POPPER K. (1973). *La logique de la découverte scientifique*. 1ère éd. 1959. Paris, Payot.
- POPPER K. (1985). *Conjecture et réfutation*. 1ère éd. 1963. Paris, Payot.
- POUSSEUR J.-M. (1988). *Bacon*. Paris, Belin.
- RANCOULE Y. & FAVRE D. (1993). Tentative de repérage épistémologique du discours pédagogique scientifique. In A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg (Eds), *Actes des XV^{es} Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, UF de didactique des disciplines, pp. 613-620.
- RUMELHARD G. (1979). Le processus de dogmatisation. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Actes des 1^{es} Journées sur l'Éducation Scientifique*. Paris, CNRS, INRP, Université de Haute-Normandie, pp. 11-28.

Étude des critères du concept de vie chez des élèves de sixième

Annie ROLLAND

Collège Camille Vernet
26000 Valence, France.

Patricia MARZIN

IUFM - LIDSE-EUDiBio
30 Avenue Marcelin Berthelot
38100 Grenoble, France.

Résumé

Le concept de vie est rarement enseigné en tant que tel dans les classes du secondaire en France. Comme nous le montrerons dans cet article, il n'existe pas de consensus dans la communauté scientifique actuelle pour définir ce concept-clé de la biologie. Tout au long de l'histoire, et encore aujourd'hui, deux conceptions coexistent et sont à l'origine de différentes théories : l'animisme et le mécanisme. Dans ce contexte non consensuel nous nous sommes posé les questions suivantes : comment les élèves de sixième se représentent-ils le vivant ? Quels critères donnent-ils pour déterminer ce qui est vivant ou non ?

Mots clés : conceptions du vivant, épistémologie, obstacles, collège, didactique.

Abstract

The concept of life is rarely taught in secondary school in France. As it is shown in this paper, there is no consensus about this concept in the scientific community. Throughout history, and still today, two different conceptions coexist : animism and mecanism. In this non-consensual context, we ask the following questions : how do

pupils represent the concept of life ? What sort of criterion do they choose to select what is alive and what is not ?

Key words : *life concepts, epistemology, obstacles, secondary school, didactics.*

Resumen

El concepto de vida es raramente enseñado como tal en las clases de secundaria en Francia. Como nosotros lo mostramos en este artículo, no existe consenso en la comunidad científica actual para definir este concepto clave de la biología. A lo largo de la historia, y todavía hoy, dos concepciones coexisten y son el origen de diferentes teorías : el animismo y el mecanismo. En este contexto no consensual nosotros nos hemos planteado las siguientes preguntas : ¿cómo los alumnos de sexto (correspondiente al primer año de la educación secundaria en Francia) se representan al viviente? ¿Cuáles son los criterios considerados por ellos, para determinar lo que es viviente o no?

Palabras claves : *concepciones del viviente, epistemología, obstáculos, colegio, didáctica.*

1. INTRODUCTION

L'objet d'étude de la biologie est le vivant. Au collège et au lycée l'enseignement du fonctionnement des êtres vivants est effectué sans que jamais ne soit formulé l'objectif explicite d'aider les élèves à construire le concept de vie : nous avons donc voulu savoir comment les élèves construisent ce concept, compte tenu du fait que cette construction se réalise de toute façon, même si elle n'est pas un objectif déclaré de l'enseignement de la biologie.

Le travail présenté ici a été effectué dans le cadre d'un mémoire de DEA de Didactique des Disciplines scientifiques, à l'Université Joseph Fourier de Grenoble (Rolland, 1995). L'objectif initial était d'identifier des obstacles épistémologiques à la construction du concept de vie chez des élèves de sixième. Le travail effectué est plus précisément une étude préalable à cette identification d'obstacles.

2. PROBLÉMATIQUE

La question : «comment les élèves construisent-ils le concept de vie ?» étant trop vaste et complexe, nous l'avons réduite à une autre, plus concrète : «selon quels critères attribuent-ils ou refusent-ils la vie aux êtres vivants et aux objets inertes ?».

Nous associons la question de l'apprentissage du concept de vie au développement de l'élève et à la nature même du concept, et en conséquence à la notion d'obstacle épistémologique.

Pourquoi avoir choisi d'observer des élèves entrant en sixième ? Parce qu'ils se trouvent à la charnière entre l'école élémentaire et le collège, et parce que les élèves de cet âge (11-12 ans) se situent à la limite de deux stades définis par Piaget : il s'agit du passage d'une pensée de type précausal, pensée qui ne se réfère pas encore à la causalité physique, à une pensée de type causal qui se réfère à la causalité physique (stade des opérations formelles ou stade hypothético-déductif). Notre hypothèse de départ était qu'il était possible de trouver chez des élèves de sixième des manifestations de ces deux modes de pensée, tout en sachant que même si la séquence des stades de Piaget est exacte, le moment du passage d'un stade à l'autre varie beaucoup selon les enfants.

Des auteurs français (Laurendeau & Pinard, 1962 ; Caron et al., 1976) et anglo-saxons (Brumby, 1982 ; Posner et al, 1982 ; Carey, 1985 ; Tamir & Zohar, 1991) ont analysé les conceptions des enfants sur le concept de vie.

Laurendeau et Pinard, ayant repris les travaux de Piaget, ont défini quatre stades concernant les conceptions de la vie chez les enfants

- stade 0 : refus et incompréhension (moyenne d'âge : 5 ans),
- stade 1 : vie attribuée à tout ce qui a du mouvement, de l'utilité ou des aspects anthropomorphiques (moyenne d'âge : 7 ans),
- stade 2 : vie liée à tout ce qui a un mouvement propre (moyenne d'âge : 8-9 ans),
- stade 3 : vie réservée aux animaux, ou aux animaux et aux plantes (moyenne d'âge : 9-10 ans).

Caron, Lamarque et Nury (1976) rappellent les principaux modes de fonctionnement de cette pensée précausale à propos de la notion de vie :

- **le phénoménisme** : lien de causalité établi entre deux objets contigus dans le temps ou dans l'espace (l'eau est vivante parce qu'elle contient des poissons, eux-mêmes vivants) ;
- **le finalisme** : ce qui sert à quelque chose est vivant (les nuages sont vivants, car ils se déplacent pour porter la pluie ailleurs) ;
- **l'artificialisme** : l'homme est à l'origine de toutes choses, et ce que l'homme a fabriqué est vivant ;
- **l'animisme** : tous les objets qui entourent l'enfant sont vivants ;
- **l'anthropomorphisme** : l'homme est pris comme modèle du vivant.

Ces modes de fonctionnement de la pensée vont constituer des obstacles à l'apprentissage du concept de vie ; ils sont liés à la nature même du concept et à sa complexité. Ceci renvoie donc à la notion d'obstacle épistémologique.

Si l'on se réfère à Bachelard, Duroux, Astolfi et Brousseau, on trouve, de l'un à l'autre, une certaine continuité dans la définition de l'obstacle épistémologique :

– Bachelard le définit par rapport à une connaissance non questionnée (Bachelard, 1938) ;

– pour Duroux, l'obstacle n'est pas une difficulté ou un manque de connaissance, c'est une connaissance qui résiste à l'établissement d'une connaissance meilleure (Duroux, 1983) ;

– pour Astolfi et Peterfalvi (1993), l'obstacle n'est pas une difficulté, c'est plutôt une facilité que s'accorde l'esprit pour maintenir son système de pensée. Il est ce qui en profondeur explique et stabilise une conception. Plusieurs conceptions peuvent apparaître comme le point d'émergence d'un même obstacle.

D'après Brousseau (1989), la recherche des obstacles consiste à :

«– trouver des erreurs récurrentes, montrer qu'elles se regroupent autour de conceptions ;

– trouver des obstacles dans l'histoire des mathématiques ;

– confronter les obstacles historiques aux obstacles d'apprentissage pour établir leur caractère épistémologique.»

Assurément, «il reste un travail à faire pour qualifier d'obstacle au sens où l'utilise Brousseau une difficulté résistante repérée dans l'histoire» (Perrin-Glorian, 1993). L'histoire peut cependant nous éclairer sur la manière dont une construction s'élabore chez l'enfant, en particulier du point de vue des obstacles épistémologiques.

Afin de confronter les obstacles historiques aux obstacles d'apprentissage en ce qui concerne la construction du concept de vie, nous avons d'abord réalisé une analyse épistémologique de ce concept, sous deux angles :

– d'une part sur le plan historique, de l'Antiquité à nos jours,

– d'autre part du côté des élèves de sixième.

Notre analyse repose sur un postulat : le vivant en tant qu'objet du savoir savant ne peut être défini qu'à un moment donné, dans un cadre théorique donné et d'un point de vue philosophique donné. Il ne peut donc

pas exister, chez les scientifiques, de véritable consensus sur le concept de vie. Aussi avons-nous émis l'hypothèse d'une corrélation entre cette absence de consensus dans la communauté scientifique et les difficultés éprouvées par les élèves dans leur construction du concept de vie.

3. ANALYSE HISTORIQUE DU CONCEPT DE VIE

Georges Canguilhem (1985) distingue quatre conceptions de la vie, conceptions qui semblent se succéder chronologiquement, de l'Antiquité à nos jours :

- la vie comme animation (conception explicitée par Aristote),
- la vie comme mécanisme (explicitée par Descartes),
- la vie comme organisation,
- la vie comme information.

Notons qu'une conception peut se manifester avant d'avoir été explicitée, c'est-à-dire que l'animisme a pu se manifester avant Aristote, et le mécanisme avant Descartes. Des documents datant d'environ 1550 avant J.-C. montrent que les Égyptiens et les Mésopotamiens avaient une conception animiste de la vie, l'âme étant le souffle de vie. Et bien avant Descartes, Galien au II^e siècle considérait l'être vivant comme une machine.

Ces quatre conceptions ne peuvent être considérées toutes sur un même plan : les deux premières (animisme et mécanisme) constituent des modèles dominants. Nous verrons que les deux autres, plus récentes, se rattachent au mécanisme, mais que l'animisme peut y réapparaître sous des formes plus ou moins déguisées (vitalisme, finalisme) (figure 1).

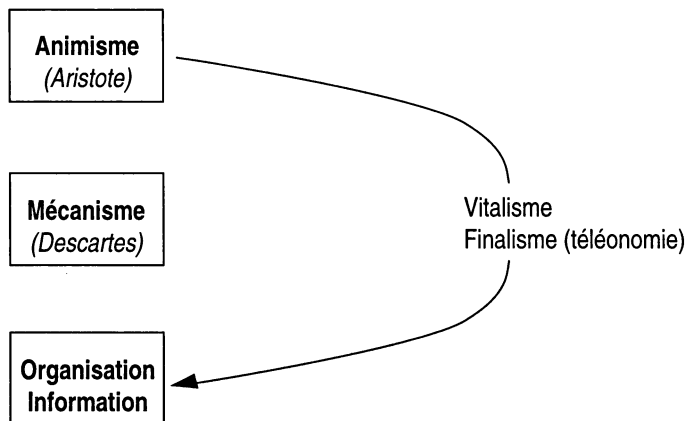


Figure 1 : Les conceptions de la vie de l'Antiquité à nos jours

3.1. Le modèle animiste

Jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, on ne distingue pas nettement le vivant et le non-vivant : on passe progressivement du minéral au végétal et du végétal à l'animal.

Pour Aristote (384-322 avant J.-C.), les êtres vivants ont une âme inséparable du corps et dotée de trois facultés. Il distingue :

– l'âme nutritive dont dépendent la subsistance, la croissance et la reproduction. Elle caractérise tous les êtres vivants, animaux et végétaux ;

– l'âme sensitive dont dépendent la sensibilité et la motricité, et qui caractérise les animaux ;

– l'âme pensante, propre à l'homme.

Être vivant, c'est posséder une âme. L'âme aristotélicienne est à la fois forme et principe moteur :

– la forme : cela signifie que l'âme met en forme la matière. Cette conception est finaliste dans la mesure où l'âme est la forme potentielle que l'être tend à réaliser (au XX^e siècle, on parlerait de programme génétique) ;

– le principe moteur : cela signifie que l'âme anime la matière. Ce principe moteur confère à l'être vivant une autonomie par rapport à Dieu qui est le «premier moteur».

L'animisme a régné de l'Antiquité au XVII^e siècle, puis il a resurgi au XVIII^e, et surtout au XIX^e siècle avec le vitalisme.

Pour le vitalisme, la vie n'est plus inhérente à la possession d'une âme, mais à l'existence d'une force vitale. Les vitalistes sont à la recherche d'un principe vital distinct de l'âme, de ce que François Jacob (1970) appelle une «*qualité particulière de la matière constituant les êtres vivants*».

Le vitalisme du XVIII^e siècle répond au besoin de réagir contre le mécanisme cartésien et ses excès, et en particulier au besoin de valoriser le vivant mis à mal par ce dernier. Pour les vitalistes, le vivant possède deux principales caractéristiques :

– il est corruptible, soumis à des forces destructrices, assujetti à la mort,

– il résiste à ces forces, il se conserve en vie.

La finalité de l'être vivant est de résister à la corruptibilité et de rester en vie. En 1800, Bichat (fondateur de l'histologie) définit la vie comme «*l'ensemble des fonctions qui résistent à la mort*».

Les critères de vie, dans cette conception de la vie comme animation (être vivant, c'est posséder une âme ou un principe vital), sont les suivants :

- le souffle vital,
- l'existence d'une forme (forme potentielle),
- le mouvement (dans ses diverses acceptions : déplacement-motricité, développement-croissance, guérison),
- la faculté de se nourrir (animaux et végétaux),
- la sensibilité qui permet la vie de relation (animaux),
- la pensée, l'intellect (homme),
- l'assujettissement à la mort,
- la résistance à la mort,
- le caractère transitoire de la vie, la variabilité, l'imprévisibilité.

3.2. Le modèle mécaniste

Dans ce modèle explicité par Descartes (1596-1650), l'être vivant est considéré comme une machine, un automate mécanique, sans que rien ne soit dit sur l'origine de son fonctionnement. Pour comprendre le mécanisme cartésien, il faut évoquer le contexte de l'époque :

- en 1628, Harvey publie ses découvertes sur la circulation sanguine et sur le fonctionnement du cœur. Il établit une analogie entre le fonctionnement du cœur et celui d'une pompe. Il est à l'origine du modèle qui représente l'organisme comme une machine hydraulique ;

- on peut aussi établir un parallèle entre le mécanisme de Descartes et la mécanique de son contemporain Galilée : mécanique fondée sur le principe d'inertie. Pour Descartes, Dieu n'intervient plus après la première impulsion donnée au monde, et tout fonctionne mécaniquement, sans finalité, à partir de cette première impulsion. (Alors que pour Aristote, Dieu intervenait constamment comme premier moteur, les êtres vivants jouissant d'une certaine autonomie grâce à leur âme.)

L'animal-machine cartésien est un automate dont le moteur n'est pas une âme, mais la chaleur d'un feu qui brûle dans son cœur. L'âme n'est plus que l'âme pensante qui siège dans le cerveau. Par conséquent, la biologie cartésienne ignore le règne végétal et s'intéresse surtout à l'homme, les animaux étant dépourvus d'âme. La dualité entre l'âme et le corps, entre la matière et la pensée, crée une rupture entre l'homme et les autres êtres, non vivants puisque sans âme.

Le mécanisme apparaît comme une conception non finaliste et qui implique une négation de la spécificité des êtres vivants et un refus de définir la vie.

Les critères de vie dans cette conception pourraient être la possession d'organes ayant une fonction, ainsi que le fonctionnement automatique, le mouvement. Mais toute machine répond à ces «critères» : il n'y a donc plus de critères de vie !

3.3. Les théories actuelles

Les théories actuelles qui constituent le savoir de référence sont les théories qui considèrent la vie comme organisation et la vie comme information.

La vie comme information est une conception du XX^e siècle, alors que la vie comme organisation est plus ancienne. Nous verrons que les deux conceptions appartiennent au modèle mécaniste et que l'on passe de l'une à l'autre sans rupture, dans la continuité.

3.3.1. La vie comme organisation

Dans cette conception, ce qui caractérise le vivant, c'est son **organisation**, c'est-à-dire un **ordre**. La notion d'organisation va permettre de **passer des trois règnes** : minéral, végétal, animal, à **deux groupes** : le non-vivant ou inorganique et le vivant ou organique (c'est-à-dire organisé). F. Jacob écrit : «*C'est par l'organisation que les êtres se distinguent des choses. [...] C'est elle qui assemble en un tout les parties de l'organisme.*» (Jacob, 1970) Pour Canguilhem, il s'agit de rendre compte «*de l'unité fonctionnelle d'un système de parties intégrantes. Dans un tel système, les parties soutiennent entre elles de tels rapports de réciprocité [...] que ce terme de partie ne convient plus pour désigner les organes dont l'organisme peut être dit la totalité mais non l'addition.*» (Canguilhem, 1985)

Dès le XVIII^e siècle, la notion d'organisation est liée à deux autres, très actuelles :

– la notion de composition élémentaire des êtres vivants. Buffon considérait l'être vivant comme un assemblage de parties primitives. On pense à la théorie cellulaire qui sera introduite au XIX^e siècle et qui fait de la cellule l'unité élémentaire du vivant ;

– la notion d'une mémoire nécessaire pour guider l'assemblage des parties primitives. On connaît l'importance donnée actuellement à la génétique.

Il est impossible de parler de l'organisation sans évoquer Lamarck (1744-1829), l'inventeur (en même temps que l'allemand Tréviranus, en 1802) du mot «biologie». C'est lui qui remplace les trois règnes : minéral,

végétal, animal, par deux groupes bien distincts et même discontinus, qu'il nomme «les corps organisés vivants» et «les corps bruts et sans vie» : «*On peut dire qu'il se trouve entre les matières brutes et les corps vivants un hiatus immense qui ne permet pas de ranger sur une même ligne ces deux sortes de corps, ni d'entreprendre de les lier par aucune nuance.*» (Lamarck, 1809, in Pichot, 1993) Lamarck ne cède pas au vitalisme dominant qui imprègne, au XVIII^e et au XIX^e siècles, la notion d'organisation. Pour lui, la vie n'est pas due à un principe vital lié à la matière constitutive des êtres vivants ; elle est due à l'organisation de la matière : «*toutes les facultés [des êtres vivants], sans exception, sont complètement physiques, c'est-à-dire que chacune d'elles résulte essentiellement d'actes de l'organisation*» (ibidem). Il est encore plus explicite dans *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* : «*Nulle sorte ou nulle particule de matière ne saurait avoir en elle-même la propriété de se mouvoir, ni celle de vivre, ni celle de sentir, ni celle de penser ou d'avoir des idées.*» (in Pichot, 1993)

Lamarck, transformiste, s'oppose à Cuvier, fixiste et créationniste, en affirmant que le vivant se caractérise par son pouvoir de variation et d'adaptation. Pour Lamarck, de nouvelles circonstances créent de nouveaux besoins : «*la fonction fait l'organe*». Et si les circonstances imposent une modification pendant plusieurs générations, elle devient héréditaire. On a injustement reproché au seul Lamarck cette notion erronée de l'hérédité des caractères acquis, alors que Darwin commit également la même erreur. Rendons justice à Lamarck en rappelant qu'avec le transformisme, il a introduit en biologie une notion fondamentale : la notion de temps, qui rendra concevable celle d'évolution développée un peu plus tard par Darwin.

La théorie de l'organisation fonctionne actuellement dans un cadre dominant mécaniste et non finaliste, où le vivant suit les mêmes lois physico-chimiques que l'inerte, avec quelquefois des résurgences plus ou moins avouées du vitalisme ou du finalisme. La notion de téléonomie (de *teleos* : fin, but et *nomos* : règle) pourrait être considérée comme une de ces résurgences : les systèmes complexes ont des propriétés téléonomiques, c'est-à-dire qu'ils paraissent tendre vers un but et donnent ainsi l'illusion d'un projet de la nature. Ceci n'est qu'une illusion puisque l'évolution est le résultat de mutations aléatoires.

Dans cette conception de la vie, l'organisme peut être défini comme une unité fonctionnelle constituée d'un ensemble de parties interdépendantes (organes) et qui «*conspirent toutes à un même but général*». L'être vivant organisé a une forme et une individualité. Cette conception suppose : une organisation de la matière, un ordre ; une mémoire de cette organisation ; des unités vivantes élémentaires ; l'interdépendance des parties.

Les critères de vie dans la conception de la vie comme organisation sont :

- la nutrition (incluant la respiration) et l'assimilation,
- la présence de compartiments liquides,
- la croissance,
- l'auto-conservation,
- la reproduction,
- la sensibilité (permettant la vie de relation),
- le mouvement (altération - renouvellement),
- la naissance et la mort,
- la dimension temporelle qui permet la variation, l'adaptation au milieu, l'évolution et la complexification de l'organisation.

3.3.2. La vie comme information

Le passage de l'organisation à l'information s'effectue dans une certaine continuité : ce qui caractérise le vivant dans la première conception, c'est son organisation, c'est-à-dire un ordre ; ordre qu'on retrouve sous la forme d'un certain degré d'information dans la deuxième conception. Le concept d'énergie remplace ici celui de force vitale. Dans la théorie de l'information, l'être vivant est envisagé comme un système, c'est-à-dire comme « *un ensemble d'éléments en interaction dynamique* » (De Rosnay, 1975), les interactions entre les éléments n'étant pas linéaires mais en réseau. L'approche systémique permet d'appréhender la complexité du vivant et de rendre compte d'un tout différent de la somme de ses parties, ce que ne permet pas l'approche analytique.

L'être vivant est défini comme un système ouvert qui échange avec l'extérieur matière, information et énergie de manière à maintenir un faible niveau d'entropie : il assure ainsi son auto-conservation. Selon le premier principe de la thermodynamique, dans un système fermé, la quantité totale d'énergie reste constante (conservation de l'énergie). Selon le second principe (principe de Carnot) : dans un système fermé, la qualité de l'énergie se dégrade de façon irréversible (sous forme de chaleur irrécupérable). L'entropie est cet accroissement irréversible d'énergie indisponible.

L'être vivant est pourvu d'une limite qui définit les interactions entre lui et son milieu extérieur. Il a donc un milieu extérieur et un milieu intérieur qu'il maintient constant par auto-régulation. La constance du milieu intérieur est une notion que l'on doit à Claude Bernard. L'être vivant est doué d'homéostasie : c'est la faculté d'assurer son auto-régulation, faculté qui lui confère une autonomie par rapport au milieu extérieur : si l'être vivant s'écarte de certaines normes (température, pH, etc.), il n'est plus adapté à

son milieu et il perd son autonomie par rapport à ce milieu. L'homéostasie suppose l'existence d'un réseau de communication (nerveuse ou hormonale par exemple).

Une caractéristique du vivant est l'auto-reproduction rendue possible par l'information qu'il contient, en particulier dans la molécule d'ADN. Prenant l'exemple de cette molécule, qui possède un très haut niveau d'information, J. de Rosnay montre que l'information est une réserve de temps : « *cette molécule représente tout le temps potentiel accumulé par l'évolution passée de la vie. L'information qui était à l'origine de cette vie ne fera que se dégrader irréversiblement. [...] l'entropie monte [...], l'organisme vieillit puis meurt. Il a épuisé sa "réserve de temps" [...]. Il a atteint son état le plus probable : la mort.* » (De Rosnay, 1975)

Cette remarque souligne également l'analogie entre information et énergie : l'entropie correspond à la fois à la baisse de l'information et de l'énergie disponible. Relation aussi entre désordre et probabilité : la mort correspond à l'entropie maximale, donc au désordre maximal. C'est l'état le plus probable. En effet, le désordre est plus probable que l'ordre : si l'on bat des cartes préalablement ordonnées, on a toutes les chances de les faire passer de l'ordre au désordre. Inversement, l'ordre et le haut niveau d'information qui règnent dans une molécule d'ADN sont hautement improbables.

L'information peut être assimilée à une entropie négative : quand, à l'intérieur d'un système, la qualité de l'énergie se dégrade, l'entropie augmente, le système perd de son organisation, il perd de l'information, il va vers le désordre.

De là à considérer l'organisme vivant comme un message codé, le pas fut franchi en 1954 par Norbert Wiener (le père de la cybernétique : discipline qui étudie les régulations et la communication chez les êtres vivants et chez les machines construites par l'homme). Reste à savoir si l'être vivant peut être réduit à un message codé...

Le vivant est complexe. C'est cette complexité qui est à l'origine de la notion d'émergence : à chaque niveau d'évolution et donc à chaque niveau de complexité d'un système, des propriétés qualitativement nouvelles émergent. « Qualitativement nouvelles » veut dire que les propriétés du tout ne sont pas la simple addition des propriétés des parties qui constituent le tout. La vie aurait ainsi émergé à partir d'un certain seuil de complexité moléculaire.

F. Varela définit les systèmes vivants comme « *des machines autopoïétiques physiques. Ils transforment la matière en eux-mêmes de façon que leur organisation soit le produit de leur opération* » (Varela, 1989).

Par exemple, la fabrication d'une membrane cellulaire se fait grâce à la production de molécules qui nécessitent la présence même d'une membrane cellulaire : il y a spécification mutuelle des transformations chimiques et des frontières physiques.

Du point de vue de la biochimie ou de la biologie moléculaire, on peut trouver une continuité, une gradation progressive entre l'inanimé et le vivant puisque l'un et l'autre sont régis par les mêmes lois physico-chimiques : dans cette optique, la notion de vie disparaît, alors que la notion d'émergence suppose une rupture entre le physico-chimique et le biologique.

Pichot envisage au contraire un «*saut qualitatif du physico-chimique au biologique*». Ce saut qualitatif renforce l'idée de discontinuité entre vivant et non-vivant : la vie suit la loi du tout ou rien et la notion de vie se trouve donc renforcée.

Retenons la définition synthétique du vivant énoncée par A. Pichot en 1980 : «*Le vivant se définit par la capacité de sa matière à se constituer en une entité distincte de ce qui devient ainsi son milieu extérieur, milieu avec lequel il effectue divers échanges (matière, énergie, information) régis de manière stricte par l'organisation physico-chimique de part et d'autre de la frontière les séparant.*»

Les critères de la vie dans la conception de la vie comme information sont :

- la complexité qui permet l'émergence (l'ordre émergeant du désordre),
- l'auto-création et l'auto-organisation,
- l'auto-conservation rendue possible par :
 - la communication (échanges d'énergie, de matière et d'information),
 - l'auto-régulation (homéostasie),
- l'auto-reproduction, rendue possible par la mise en mémoire de l'information,
- l'existence d'une limite qui permet :
 - l'individualité,
 - les interactions avec le milieu extérieur,
- l'autonomie par rapport au milieu,
- l'unité,
- l'imprévisibilité,
- l'irréversibilité (prise en compte du temps irréversible, de la durée vécue).

3.4. Conclusion

Comme nous l'avons dit plus haut, la difficulté des scientifiques à se mettre d'accord sur la question de la vie provient sans doute d'une difficulté majeure déjà évoquée : le débat est au moins autant philosophique que scientifique.

Tout au long de cette analyse, est apparue la dualité entre l'animisme et le mécanisme, l'animisme survalorisant la vie et le mécanisme la dévalorisant. On retrouve ici l'éternelle question du «pourquoi» et du «comment», question qui entraîne deux options.

1) L'option matérialiste, mécaniste et cartésienne, choisie par la plupart des biologistes actuels et en particulier par les biochimistes. On élimine le «pourquoi» et on cherche à élucider le «comment». On explore le vivant en se limitant à constater qu'il est organisé et sans rechercher ailleurs que dans les lois physico-chimiques les causes de cette organisation. E. Kahane, en 1962, poussait cette logique à l'extrême quand il écrivait : *«Nous pourrions renoncer à utiliser le terme de vie pour caractériser [...] ce mode supérieur de mouvement de la matière, et c'est dans ce sens que nous produisons l'assertion paradoxale : la Vie n'existe pas.»*

2) L'autre option, que l'on peut qualifier de finaliste, consiste à rechercher les causes de cette organisation. Pour Teilhard de Chardin qui se réfère à l'explication finale, l'évolution a un sens et l'esprit est indissociable de la matière. La matière se complexifie au cours de l'évolution et, de la particule élémentaire aux sociétés humaines, se manifeste la vie, puis la conscience réfléchie, l'esprit se libérant de la matière à chaque étape.

Laissons le dernier mot à André Pichot, qui s'élève contre le *«réductionnisme envahissant»* d'une biochimie qui s'est substituée à la biologie. Il déplore que, *«aussi paradoxal que cela puisse paraître, la biologie, qui est étymologiquement la science de la vie, [soit] aujourd'hui une science pour qui la notion de vie ne signifie rien»* (Pichot, 1980).

Il nous ramène à notre remarque initiale à propos des élèves : l'enseignement de la biologie ne s'intéresse pas à la construction du concept de vie, ce qui se comprend si l'on tient compte du fait que la biologie actuelle fonctionne dans un cadre mécaniste. C'est pourquoi nous avons voulu observer ce qui se passe du côté des élèves.

4. DU CÔTÉ DES ÉLÈVES

4.1. Les élèves interrogés

Un questionnaire a été soumis en début d'année scolaire à 51 élèves répartis en deux classes de sixième. Les élèves sont issus d'un milieu urbain de centre ville. Les deux classes sont relativement hétérogènes. Les enseignants considèrent qu'elles ont un niveau d'ensemble moyen à assez bon. Sur 51 élèves : 37 ont l'âge requis (onze ans) ; 12 ont douze ans ; les deux plus jeunes ont dix ans et demi et la plus âgée a treize ans.

4.2. Objectifs et méthodes

Nous avons poursuivi quatre objectifs.

4.2.1. *Établir un champ sémantique du vivant*

Notre objectif était de provoquer une association spontanée d'idées à partir du mot «vivant» et de susciter une réflexion sur le vivant à partir d'une question : «Que veut dire vivant ?»

Pour cela, nous avons demandé aux élèves de construire une trame en écrivant vivant au milieu et d'écrire autour les mots auxquels ils pensaient et qui pour eux voulaient dire «vivant». Ensuite nous leur avons demandé de faire une phrase en réponse à la question : «Que veut dire vivant ?»

Exemple de réponse d'élève : voir annexe 1.

4.2.2. *Connaître les critères de vie des élèves*

Une liste d'éléments divers est soumise aux élèves qui doivent les reconnaître comme vivants ou non vivants et justifier chaque réponse. Ces justifications nous ont permis de faire émerger leurs critères de vie.

La liste comprend (voir annexes 2 et 3) :

- des animaux et des végétaux connus,
- un fragment de végétal,
- un microbe et un virus,
- une graine et un œuf,
- des objets fabriqués, d'utilisation courante : maison, téléphone, lampe, ordinateur, poupée...
- des éléments naturels : nuage, caillou, montagne, volcan, étoile, soleil, océan, planète Terre, feu, fossile...

4.2.3. Savoir si, pour les élèves, il y a ou non discontinuité entre le vivant et le non vivant

Méthode (voir annexe 4) : l'élève a pour consigne de repérer dans la liste précédente les éléments qui, d'après lui, sont vivants. Il doit dire si, parmi ces éléments, il pense que certains sont plus vivants que d'autres. Si sa réponse est négative, on lui demande de l'expliquer. Si sa réponse est positive, il doit : 1) indiquer les éléments les plus vivants et dire pour quelles raisons ces derniers sont plus vivants que d'autres ; 2) indiquer lesquels sont les moins vivants et pour quelles raisons ils sont moins vivants que d'autres.

4.2.4. Évaluer les difficultés et les éventuels obstacles rencontrés par les élèves dans la construction du concept

Nous avons pour cela repéré et analysé les critères de vie qui émergeaient des réponses des élèves.

4.3. Résultats

4.3.1. Un champ sémantique du vivant

Les huit notions le plus souvent associées au vivant par les élèves sont (par ordre de fréquence décroissante) : 1) l'animal, 2) le mouvement, 3) l'être humain, 4) les plantes, 5) les activités sensorielles, 6) la respiration, 7) l'alimentation, 8) la nature.

Si l'on met en parallèle le champ sémantique et les critères de vie dont il est question ci-après, nous pouvons dire que les deux sont en cohérence. Nous n'avons pas remarqué de contradiction entre le champ sémantique établi à partir des réponses spontanées, non réfléchies, et des critères exprimés dans les réponses nécessitant un temps de réflexion.

4.3.2. Les critères de vie des élèves

Ils sont très divers. Nous les avons regroupés en dix-huit catégories, le tableau 1 les présente du plus fréquemment au plus rarement cité. Nous avons essayé de les relier aux modèles théoriques anciens ou actuels : entreprise difficile en l'absence d'entretiens individuels avec les élèves afin de leur faire préciser leurs critères. Un exemple : lorsqu'un élève emploie le critère «mouvement», ce critère peut aussi bien relever du mécanisme (mouvement de l'automate mécanique) que de l'animisme (mouvement dû à l'âme en tant que principe moteur).

Critères des élèves	Modèles anciens et actuels
Mouvement	Animisme (Aristote : l'âme est principe moteur) Mécanisme (automate mécanique)
Croissance	Mouvement aristotélicien Vie comme organisation
Respiration	Animisme (le souffle vital, l'âme nutritive d'Aristote) Mécanisme. Organisation (fonction de nutrition) Information (échanges de matières)
Alimentation	Animisme (Aristote : l'âme nutritive) Organisation (nutrition). Information (échanges de matières)
Matière constitutive	Vitalisme
Origine naturelle	Animisme (Aristote : nature = tout vivant)
Activité, autonomie de fonctionnement	Mécanisme (l'automate mécanique)
Contact avec des êtres vivants	Animisme ?
Maladie	Vitalisme : corruptibilité de l'être vivant
Intégrité	Information : unité de l'être vivant, existence de limites
Liquides circulants (sève, sang)	Organisation (Lamarck : <i>parties solides contenant et parties liquides contenues</i>)
Fait d'avoir un cœur	Animisme (Aristote situe l'âme dans le cœur) Mécanisme (Descartes : l'être vivant est en mouvement grâce à « <i>la chaleur du feu qui brûle continuellement en son cœur</i> »)
Reproduction	Organisation Information
Mort	Vitalisme (Bichat : « <i>la vie est l'ensemble des fonctions qui résistent à la mort.</i> ») Organisation (cf. Lamarck)
Vie de relation	Animisme (l'âme sensitive d'Aristote). Organisation (Bichat distingue la « <i>vie organique</i> » (vie végétative) et la « <i>vie animale</i> » (vie de relation) Information (échanges d'information)
Activité cérébrale	Animisme (l'âme pensante d'Aristote) Mécanisme (l'âme cartésienne est l'âme pensante qui siège dans le cerveau)
Dimension temporelle	Organisation (Lamarck) Information
Anthropomorphisme	Platon : l'homme est l'être vivant le plus parfait (avant les animaux) Descartes : l'être vivant cartésien est l'homme

Tableau 1 : Catégorisation des critères d'élèves

La quasi-totalité des élèves reconnaît les animaux comme vivants. Une grande majorité considère que les végétaux et même les microbes sont vivants, et que les objets fabriqués ne sont pas vivants. Mais il est très rare qu'ils utilisent des critères communs aux animaux et aux plantes (deux élèves seulement l'ont fait) : l'unité du monde vivant ne leur apparaît pas.

Une des plus grandes difficultés pour les enfants a été de considérer que des éléments naturels comme la lune, la montagne, la planète Terre, le volcan en éruption ne sont pas vivants. Nous reviendrons sur ce point important qui pourrait bien être une manifestation de l'animisme.

Il serait hasardeux de pointer les «bonnes» réponses sans tenir compte des critères utilisés car une «bonne» réponse peut cacher une erreur : certaines réponses justes ont été obtenues à l'aide de critères non pertinents. Par exemple, *la lune n'est pas vivante* : d'après l'un parce qu'elle n'a pas de sang ; d'après l'autre parce qu'elle ne bouge pas.

4.3.3. Discontinuité ou gradation entre vivant et non-vivant

Les avis sont très partagés chez les élèves. La moitié d'entre eux environ opte pour la discontinuité, exprimant des critères que nous qualifierons de minimaux : on est considéré comme vivant si l'on répond à l'un au moins de ces critères. Nul être n'est plus ou moins vivant qu'un autre : la vie suit la loi du tout ou rien. Ces critères sont l'alimentation, la respiration, le mouvement, la croissance, la circulation de liquides et d'autres rarement invoqués, comme l'assujettissement à la mort.

Voici quatre exemples de réponses allant dans ce sens :

1) *«Tout le monde vit pareil. Tout le monde se nourrit. Même les plantes se nourrissent de sève ou d'eau. Même si les humains et les animaux ne se nourrissent pas que d'eau.»*

2) *«Quand c'est vivant ça ne peut pas être plus que vivant : car ce qui est vivant respire et il n'existe pas des choses qui respirent plus.»*

3) *«Ils doivent tous mourir à un moment.»*

4) *«Si un animal est vivant, il ne peut pas être plus vivant que autre chose. Et si une montagne est vivante, elle ne peut pas être plus vivante que autre chose.»*

L'autre moitié des élèves se prononce pour une gradation entre vivant et non-vivant, exprimant des «super-critères» que l'on pourrait appeler critères maximaux : on est encore plus vivant si on est capable de mouvement, si on se nourrit, si on respire, si on se reproduit, si on a un cœur...

Les élèves qui établissent une hiérarchie du vivant valorisent les animaux et plus encore l'homme. On retrouve les trois notions qui apparaissent le plus souvent dans le champ sémantique : 1) l'animal, 2) le mouvement, 3) l'être humain.

Voici deux exemples de réponses exprimant une hiérarchie du vivant.

1) Plus vivants : l'escargot, le corbeau, le poisson, l'éléphant, le serpent «*parce qu'ils se déplacent*».

Moins vivants : la montagne et le volcan en éruption «*parce qu'ils ne se nourrissent pas*».

2) Plus vivants :

- l'éléphant «*parce qu'il a un cœur et respire*»,
- l'araignée «*parce qu'elle respire, elle marche et elle a un cœur*»,
- l'escargot «*parce qu'il marche et il vit comme les hommes*»,
- le corbeau «*parce que c'est un animal qui vit*»,
- le poisson et le serpent «*parce qu'ils respirent de l'air*»,

Moins vivant : l'arbre «*parce qu'il ne marche pas et il n'a pas un cœur*».

Nous remarquons ici la prédominance de quatre critères forts : l'alimentation, le mouvement, la respiration et la croissance.

4.3.4. Les obstacles

Rappelons qu'en choisissant de nous intéresser à des élèves de sixième, nous avons émis l'hypothèse que nous trouverions des manifestations de la pensée précausale, puisque ces élèves sont censés être en train de passer au stade suivant, celui de la pensée causale, ou stade hypothético-déductif. Comme nous l'avons dit dans l'exposé de la problématique (paragraphe 2), les travaux de Piaget et des travaux ultérieurs ont mis en évidence des modes de fonctionnement de la pensée précausale à propos de la notion de vie. Si l'on admet qu'il s'agit bien d'obstacles, on peut alors considérer les critères de vie exprimés par les élèves comme des indicateurs de ces obstacles. On retrouve à travers ces critères la plupart des modes de fonctionnement de la pensée précausale, comme nous le montrons dans le tableau 2.

Les critères exprimés par les élèves...	...renvoient à des obstacles
anthropomorphisme («le volcan est vivant parce qu'il est en colère») activité cérébrale («l'ordinateur est vivant parce qu'il réfléchit»)	anthropomorphiste
origine ou utilité («le soleil est vivant parce qu'il chauffe la terre»)	finaliste
origine naturelle («la montagne est vivante parce qu'elle est fabriquée par la nature»)	animiste
contact avec des êtres vivants («l'océan est vivant parce qu'il contient des poissons»)	phénoméniste

Tableau 2 : Critères et obstacles

Il convient de vérifier que ces modes de fonctionnement de la pensée précausale remplissent les conditions énoncées par Duroux (1983) pour être des obstacles. Les commentaires qui suivent sont un simple survol qui nécessiterait d'être approfondi :

- a) *Un obstacle sera une connaissance, une conception, pas une difficulté ou un manque de connaissance.*
- b) *Cette connaissance produit des réponses adaptées dans un certain contexte, fréquemment rencontré.»*

Comme dit plus haut, on retrouve ici la notion de «*connaissance non questionnée*» (Bachelard, 1983), et la notion de «*facilité que s'accorde l'esprit*» (Astolfi & Peterfalvi, 1993), l'idée que l'élève est prisonnier d'un obstacle tant qu'il ne le voit pas. C'est ce qui semble se passer avec le concept de vie.

Par exemple, pour les animaux, le critère du mouvement autonome fonctionne très bien : un animal bouge par lui-même, donc il est vivant. Mais ce critère ne fonctionne plus quand il s'agit des plantes.

On arrive donc au point suivant évoqué par Duroux (1983) :

- c) *Mais elle engendre des réponses fausses hors de ce contexte. Une réponse correcte et universelle exige un point de vue notablement différent.»*

Dans l'exemple précédent, changer de point de vue, c'est admettre qu'il existe des critères plus performants que celui du mouvement, des critères qui ont un champ d'application plus étendu. L'élève va devoir envisager des critères auxquels il n'avait jamais pensé jusque là : sa représentation du vivant est alors susceptible de se transformer.

Par ailleurs, Duroux envisage «une réponse correcte et universelle». Or, compte tenu du caractère imprévisible du vivant, une réponse peut-elle être universelle en biologie ?

«d) De plus, cette connaissance résiste aux contradictions auxquelles elle est confrontée et à l'établissement d'une connaissance meilleure. Il ne suffit pas de posséder une meilleure connaissance pour que la précédente disparaisse (ce qui distingue le franchissement d'obstacle de l'accommodation de Piaget). Il est donc indispensable de l'identifier et d'incorporer son rejet dans le nouveau savoir.

e) Après la prise de conscience de son inexactitude, elle continue à se manifester de façon intempestive et opiniâtre.»

À propos de ces deux derniers points, une question se pose : quand un élève répond «vivant» ou «non vivant» et qu'il justifie sa réponse, les critères qu'il exprime sont-ils toujours ceux qui ont réellement déterminé son choix ? Comment savoir s'il n'existe pas un double fonctionnement ?

Émettons l'hypothèse de la coexistence de deux connaissances chez l'élève : une connaissance non pertinente, mais facile à utiliser et qui fonctionne bien dans son esprit, et une connaissance apprise, que l'élève juge plus recevable par le professeur, mais qu'il ne sait pas faire fonctionner. Il ne suffit pas de posséder une meilleure connaissance pour que la précédente disparaisse et il peut arriver que, après la prise de conscience de son inexactitude, la connaissance erronée continue de se manifester.

Autrement dit, un critère pourrait en cacher un autre ! Un critère pertinent exprimé peut en masquer un autre, moins pertinent, mais fonctionnant de manière effective. Le constat effectué plus haut vient appuyer cette hypothèse : une réponse juste peut être obtenue à l'aide de critères non pertinents, et l'emploi de critères pertinents n'amène pas toujours une réponse correcte. Enfin pour Brousseau (1989), les obstacles épistémologiques sont ceux «qui ont joué un rôle dans le développement historique des connaissances et dont le rejet a dû être intégré explicitement dans le savoir transmis». Nous avons souligné l'importance de l'anthropomorphisme, du finalisme et de l'animisme dans l'histoire du concept de vie.

5. CONCLUSION

À partir de ce travail, différentes perspectives se dégagent. Il faudrait évaluer l'influence du contexte dans lequel le questionnaire a été soumis aux élèves. Les élèves ont été sollicités dans le cadre du cours de biologie. Auraient-ils répondu de la même façon dans d'autres circonstances : avec un professeur de français ou de musique, ou hors du contexte scolaire ?

Nous avons annoncé que cette recherche était une analyse préalable à l'identification d'obstacles à la construction du concept de vie. Il reste, à partir des critères de vie qui ont été exprimés, à construire les conceptions des élèves et, parmi ces conceptions, à garder ou à éliminer les «candidats-obstacles» à la construction du concept de vie, en tenant compte de la difficulté à transposer à la didactique de la biologie les notions établies en didactique des mathématiques.

Parmi ces «candidats-obstacles», il serait pertinent d'évaluer avec davantage de précision les manifestations de l'animisme chez les élèves, manifestations sans doute plus importantes que ce que les résultats obtenus laissent apparaître. Deux raisons permettent d'émettre cette hypothèse.

1) Les élèves ont à tort attribué la vie à un nombre élevé d'éléments naturels. Les critères qu'ils ont utilisés ne nous ont pas permis de montrer qu'ils fonctionnaient dans le modèle animiste. Et pourtant, quand on attribue la vie aux éléments naturels qui nous entourent, c'est bien d'animisme qu'il s'agit. Il serait donc instructif de reconstruire des questionnaires mieux adaptés à cette question, et de procéder à des entretiens avec des élèves sur ce point précis.

2) Nous avons souligné l'existence de résurgences animistes ou vitalistes plus ou moins avouées dans une biologie actuelle qui se situe dans un cadre majoritairement matérialiste et mécaniste. Ces résurgences montrent la force d'une conception rejetée par la communauté scientifique actuelle.

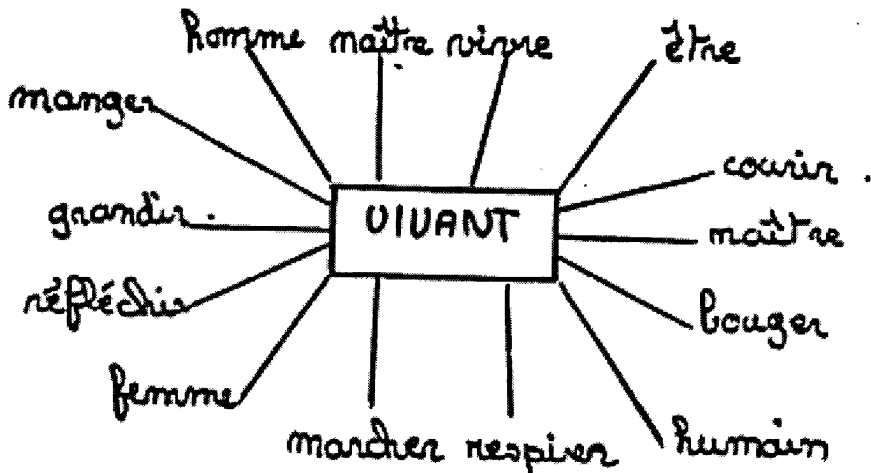
Ceci nous ramène à notre postulat de départ : la corrélation entre les difficultés des scientifiques à aboutir à un consensus sur le concept de vie et celles des élèves à construire ce même concept. S'il n'est pas aisé pour nombre de scientifiques de se libérer du «fantôme» de l'animisme, c'est peut-être parce qu'il est difficile d'étudier le vivant sans s'interroger sur le sens de la vie.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI J.P. & PETERFALVI B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, n°16, pp. 103-141.
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.
- BROUSSEAU G. (1989). *Construction des savoirs : obstacles et conflits*. Ottawa, CIRADE, Agence d'Arc.
- BRUMBY M. N. (1982). Student's perception of the concept of life. *Science Education*, vol. 66, n°4, pp. 613-622.
- CANGUILHEM G. (1985). Rubrique «Vie». In *Encyclopædia Universalis*.
- CAREY S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MIT Press.
- CARON P., LAMARQUE J. & NURY D. (1976). Les représentations des enfants à propos du vivant. *Recherches pédagogiques*, n° 86, pp. 14-37. Paris, INRP.
- DUROUX A. (1983). La valeur absolue : difficultés majeures pour une notion mineure. *Petit x*, n°3. Grenoble, IREM.
- DE ROSNAY J. (1975). *Le microscope*. Paris, Seuil.
- JACOB F. (1970). *La logique du vivant*. Paris, Gallimard.
- KAHANE E. (1962). *La vie n'existe pas !* Paris, Éditions Rationalistes.
- LAURENDEAU M. & PINARD A. (1962). *La pensée causale*. Paris, Montréal, Institut de Recherches Psychologiques.
- MONOD J. (1970). *Le hasard et la nécessité*. Paris, Seuil.
- PERRIN-GLORIAN M.-J. (1993). Utilisation de la notion d'obstacle en didactique des mathématiques. *Cahier du séminaire R2I*. Grenoble, IUFM.
- PIAGET J. (1926). *La représentation du monde chez l'enfant*. Paris, PUF.
- PICHOT A. (1980). *Éléments pour une théorie de la biologie*. Paris, Maloine.
- PICHOT A. (1993). *Histoire de la notion de vie*. Paris, Gallimard.
- POSNER G. J., STRIKE K. A., HEWSON P. W. & GERTZOG W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception : toward a theory of conceptuel change. *Science Education*, vol. 66, n°2, pp. 211-227.
- ROLLAND A. (1994). *Épistémologie du concept de vie. Analyse historique du concept. Analyse des critères de vie d'élèves entrant en Sixième*. Mémoire de DEA, Université Grenoble 1.
- TAMIR P. & ZOHAR A. (1991) Anthropomorphism and teleology in reasoning about biological phenomena. *Science Education*, vol. 75, n°1, pp. 57-68.
- TEILHARD DE CHARDIN P. (1955). *Le phénomène humain*. Paris, Seuil.
- VARELA F. (1989). *Autonomie et connaissance*. Paris, Seuil.

ANNEXE 1

Construction d'un champ sémantique par les élèves
à propos du vivant



Exemple de réponse d'élèves à la question :
« que veut dire vivant ? »

que veut dire : "vivant" ?

"vivant" veut dire qu'un homme vie, il respire,
il marche, il court, il réfléchit, il bouge, il mange
il est né.

ANNEXE 2

Questionnaire "vivant - non vivant"

	Vivant	Non vivant	Explication: Qu'est-ce qui me fait dire que c'est vivant ou que ce n'est pas vivant?
Un éléphant	V		il se nourrit, il respire, il se défend
Un nuage		N	il ne se nourrit pas, ne se défend pas, ne respire pas
Une poupée		N	elle est en plastique
Une araignée	V		elle tisse sa toile
Une maison		N	elle est faite de briques elle ne marche pas
Un microbe	V		il se nourrit, il se reproduit
Une étoile	V		elle meurt
Une voiture		N	l'homme la fait marcher
Un virus			?
Une montagne	V		elle grandit
Un ordinateur		N	l'homme le fait marcher
Un volcan en éruption	V		il est éveillé
Un volcan éteint		N	il dort
Un arbre	V		il fabrique de l'humus
Un fossile		N	c'est un être mort
Un téléphone		N	il marche à l'électricité
Le feu	V		il brûle

ANNEXE 3

Questionnaire "vivant - non vivant" (suite)

	V	N	?	EXPLICATION
Un escargot	V			il se déplace
Un géranium en pot	V			il se nourrit d'eau
Un œuf		N		le poussin est mort
Une fleur coupée		N		elle n'a plus accès à l'eau & la terre
Un corbeau	V			il vole
La planète Terre	V			elle attire la Lune
Un poisson	V			il mange
Une lampe		N		l'homme la fait marcher
Un caillou		N		il reste à la même place sauf si on le bouge
Le soleil	V			il attire la terre
Une graine de haricot			?	ça assez précis
Un cactus	V			il produit de l'eau
Un serpent	V			il se reproduit
De l'eau dans un verre		N		elle ne bouge pas
L'eau d'une rivière	V			elle a du courant
La lune	V			elle tourne autour de la Terre
Un océan	V			il fait des vagues
Une voiture qui roule		N		l'homme la fait marcher

ANNEXE 4

Questionnaire destiné à savoir si, pour les élèves, il y a discontinuité entre le vivant et le non vivant

Dans la liste ci-dessus, repère ceux qui, d'après toi, sont vivants : parmi ceux qui sont vivants, penses-tu que certains sont plus vivants que d'autres ?

Réponds oui ou non : non

- ① Si tu as répondu non, essaie d'expliquer ta réponse.
~~Ça n'est pas à moi de décider, mais de voir et de parler.~~

- ② Si tu as répondu oui, indique lesquels sont les plus vivants et essaie d'expliquer pour quelles raisons ils sont plus vivants que les autres.

Indique ensuite lesquels sont les moins vivants et essaie d'expliquer pour quelles raisons ils sont moins vivants que les autres.

Les représentations des capacités et des moyens qu'il faut mobiliser pour réussir au lycée dans les disciplines enseignées. Le point de vue d'élèves scientifiques

Jean LÉZIART

Service Universitaire d'Information et d'Orientation
Université Rennes 2
6, avenue Gaston Berger
35043 Rennes, France.

Résumé

Les études des représentations des capacités et des moyens à mobiliser dans les disciplines au lycée, chez les élèves des séries scientifiques, se sont concentrées uniquement sur les disciplines scientifiques. Aucune étude pluridisciplinaire large n'a encore été réalisée. Pour remédier à cette situation, neuf disciplines – le plus souvent obligatoires dans les programmes scolaires – ont été retenues dans cette enquête. Un questionnaire très ouvert a permis un recueil large et diversifié des représentations des élèves. Les éléments de réponses retenus (items) permettent de distinguer ceux qui sont communs à l'ensemble des matières et ceux spécifiques à chacune. Un traitement statistique multidimensionnel (ACP) appliqué à ces items communs détermine une cartographie précise et complète des disciplines.

Mots clés : *élèves scientifiques, représentations, capacités, moyens, disciplines.*

Abstract

This paper focuses on students' representations of the means and capacities necessary to be a successful student in the scientific classes at the upper secondary school. No pluridisciplinary study has ever been done yet. To remedy this situation, nine disciplines – more often compulsory in syllabuses – have been selected for our investigation. A very open questionnaire has permitted a wide and varied collection of students' representations. The students' choices allow to distinguish items which are common to all disciplines and those which are specific to particular discipline. A multidimensional statistic analysis (ACP) applied to these common items establishes an exact and complete cartography of disciplines.

Key words : *scientific pupils, representations, capacities, means, disciplines.*

Resumen

Los estudios de las representaciones sobre las capacidades y los medios a mobilizar en las disciplinas del liceo, en los alumnos de las series científicas, se han concentrado únicamente en las disciplinas científicas. Ningún amplio estudio pluridisciplinario ha sido todavía realizado. Para remediar esta situación, nueve disciplinas – lo más frecuente obligatorias en los programas escolares – han sido retenidas en la investigación. Un cuestionario completamente abierto permitió una amplia y diversificada recolección de las representaciones de los alumnos. Los elementos de respuestas retenidos (items) permiten distinguir aquellos que son comunes al conjunto de materias y aquellos específicos a cada una de ellas. Un tratamiento estadístico multidimensional (ACP) aplicado a esos items comunes determina una cartografía precisa y completa de las disciplinas.

Palabras claves : *alumnos científicos, representaciones, capacidades, medios, disciplinas.*

1. POURQUOI UNE TELLE ÉTUDE ?

Selon Moscovici (1961, p. 302), la représentation peut être considérée comme « *une organisation psychologique, une modalité de connaissance particulière* ». Cette définition laisse à penser que les élèves posséderaient un corps d'idées préalables, construites de longue date, pour analyser et comprendre le réel autour d'eux. Il était donc intéressant de connaître leurs représentations concernant les disciplines au lycée. La formulation « *capacités et moyens* » est apparue comme la plus concrète, la plus suggestive pour connaître le « *fonctionnement disciplinaire* » des lycéens.

Les capacités et les moyens nécessaires pour réussir dans les disciplines au lycée se situent au carrefour d'approches et de significations diverses. Les professeurs hésitent entre des approches pédagogiques

telles que les référentiels (savoir-faire à acquérir par les lycéens) et des perspectives didactiques centrées sur le vécu des élèves. Les élèves se singularisent, au contraire, par une énumération de qualités : «logique», «mémoire», «raisonnement», «persévérance», «travail régulier», «apprendre le cours», «faire des exercices», «aide des professeurs», etc. Il apparaît également que ces représentations semblent liées à telle ou telle discipline et ne concernent pas l'ensemble des savoirs. L'examen de la littérature (recherches antérieures à propos des représentations des capacités et des moyens dans les disciplines) révèle des approches essentiellement disciplinaires. Seules les mathématiques, les sciences expérimentales, l'histoire et la géographie ont opéré quelques rapprochements par famille de disciplines. **Le caractère très parcellaire des données actuellement disponibles nous incite à une approche pluridisciplinaire large des représentations lycéennes.** Cette étude reprend et prolonge les résultats d'une thèse (Léziart, 1994).

2. LES TRAVAUX ANTÉRIEURS À PROPOS DES REPRÉSENTATIONS DES CAPACITÉS ET DES MOYENS À MOBILISER DANS LES DISCIPLINES

Les études sont assez nombreuses en France si l'on considère les représentations des disciplines (statut, attitudes développées à l'égard de ces dernières). Elles le sont beaucoup moins si l'on s'en tient aux dimensions à mobiliser pour réussir dans ces dernières, c'est-à-dire les capacités et les moyens. La disciplinarité est le dénominateur commun à ces quelques enquêtes. La première concerne les mathématiques : «*Les mathématiques et vous*» (IREM de Strasbourg, 1988). La seconde interroge les lycéens et l'enseignement du français (Bounoure et al., 1987). La dernière marque son interdisciplinarité en intégrant l'histoire et la géographie (Audigier, 1987).

Les résultats de ces études permettent d'abord de recenser les groupes d'élèves observables au lycée. Ils sont : (seconde, première, terminale), (garçons, filles), (catégorie socioprofessionnelle d'appartenance moins favorisée CSP-, et plus favorisée CSP+), (littéraires, économistes, techniques économiques et scientifiques). Ces enquêtes établissent ensuite que les représentations évolueraient de problèmes d'adaptation et d'organisation en seconde, vers des perceptions plus culturelles et plus personnalisées en terminale. Les garçons posséderaient des représentations plus ouvertes sur l'extérieur, plus abstraites. Les filles auraient des perspectives plus scolaires et concrètes. Les élèves des milieux socioprofessionnels favorisés se caractériseraient par des apports externes au monde scolaire, par la culture et l'épanouissement scolaire. Les élèves

des milieux socioprofessionnels moins favorisés auraient des perceptions plus scolaires, techniques et pratiques. Par contre, les types de série suivie, plus rarement pris en compte dans ces enquêtes, conduisent à des résultats parcellaires et peu convergents.

Ayant choisi d'élaborer une enquête pluridisciplinaire, il reste à déterminer les disciplines retenues. Comment les choisir ? Les programmes officiels du Ministère de l'Éducation nationale distinguent en seconde et première des disciplines obligatoires, à savoir : mathématiques, sciences physiques, sciences naturelles, sciences économiques et sociales, histoire, géographie, français, anglais, allemand et enfin éducation physique et sportive. D'autres disciplines ne sont pas enseignées massivement et correspondent à des options : arts plastiques, musique, technologie, etc. Nous ne retiendrons dans cette étude que les matières obligatoires. Certaines caractéristiques des enseignements nous conduisent aux aménagements suivants : les contenus différenciés des enseignements d'histoire et de géographie nous incitent à dissocier ces deux matières ; la variété et les combinaisons des enseignements linguistiques au lycée (langue vivante 1, langue vivante 2, importance de chacune par rapport aux sections suivies...) nous conduisent à adopter une formulation générale : les langues. Neuf matières sont donc retenues au total.

3. AXES DE RECHERCHES ET PROBLÉMATIQUES

La problématique qui caractérise l'étude présentée est complexe. Elle se situe à l'intersection d'au moins quatre champs théoriques diversifiés. Un premier plan d'observation possible est celui proposé par la psychologie sociale. La grille de lecture de l'élève est dans une certaine mesure l'expression de son habitus familial. Elle se matérialise par un corps de règles, d'attitudes, de systèmes de catégorisations acquis dans le milieu d'origine. Un second intéresse les orientations de la psychologie cognitive grâce à l'étude des processus de traitement de l'information et de résolution de problèmes par les élèves. Une troisième approche, différentielle, des capacités et des moyens est également possible : les lycéens se différencient-ils des lycéennes dans leurs conceptions de la mémoire, de l'apprentissage ? Enfin, les travaux de la didactique constituent des références possibles. La connaissance des représentations des capacités et des moyens chez les lycéens est un matériel préalable permettant aux enseignants une meilleure progressivité dans les situations d'apprentissage, une meilleure approche des élèves dans les disciplines.

Rappelons que **le sujet d'étude concerne les capacités et les moyens à mobiliser pour réussir dans les disciplines et non l'observation des contenus disciplinaires.** L'association de deux

concepts : capacités et moyens, va donc permettre une observation large du «fonctionnement disciplinaire» et du «régime intellectuel» des élèves scientifiques. Les références à des théories diversifiées ne doivent pas surprendre. Elles s'expliquent par la nature de l'étude, carrefour de nombreuses interrogations, et par la perspective pluridisciplinaire adoptée.

4. ÉLABORATION DE L'HYPOTHÈSE

Les enquêtes précédentes (paragraphe 2) ont permis, d'une part, de déterminer les groupes observables au lycée, d'autre part, d'établir que des sujets appartenant aux mêmes groupes ont des représentations qui se ressemblent. Si notre choix d'étude cible les représentations des élèves des séries scientifiques au lycée, on peut supposer que celles-ci ont une structure caractéristique. **Quelle est la carte représentative des élèves scientifiques au lycée ? Quels capacités et moyens à mobiliser pour réussir dans les disciplines décrivent-ils ? Comment ces élèves situent-ils les disciplines les unes par rapport aux autres ?**

5. LES CONTRAINTES SCOLAIRES ET L'ENQUÊTE

Les séries scientifiques existent à deux niveaux : classes de première et classes de terminale. Ces dernières se répartissent en deux sections : mathématiques et sciences physiques (C), mathématiques et sciences de la nature (D), alors que les premières reçoivent un enseignement indifférencié (série S). Étudier les représentations des élèves de classes de première suppose une intervention dans une période de l'année scolaire où les élèves sont disponibles et encore impliqués (les dernières semaines du troisième trimestre). La seule contrainte est alors l'épreuve du baccalauréat de français. Une intervention à cette période de l'année ne pose, le plus souvent, aucun problème.

La réalité est tout autre pour les terminales (sections scientifiques comprises). **L'absence de disponibilité dans cette année déterminante, le départ anticipé du lycée et la préparation du baccalauréat conduisent à ne programmer une intervention que dans les structures d'enseignement supérieur, et cela avant que l'influence pédagogique de ces nouveaux milieux n'opère** (dès la première ou la seconde semaine de la rentrée). Toutefois, il y a déjà l'effet du choix effectué et si la théorie de la dissonance cognitive est juste, ce choix devrait produire à lui seul une transformation de la représentation pour la rendre consonante avec la filière intégrée. **Plutôt que de parler de lycéens de terminale, l'expression «entrée dans le supérieur» apparaît plus appropriée.**

Les sources statistiques du Ministère de l'Éducation nationale – «*Repères et références statistiques*» (1988) – ne comportent pas d'informations concernant les catégories socioprofessionnelles des élèves (CSP). Celles-ci, de plus, ne permettent pas de recouvrir fidèlement les niveaux socioculturels familiaux (MSC). Il apparaît plus envisageable de proposer une répartition des réponses selon deux niveaux de culture distincts concernant les familles : un premier équivalent ou supérieur au baccalauréat (MSC+) et un second inférieur au baccalauréat (MSC–). Le nombre important de mères sans profession et une certaine réticence constatée à décliner les informations concernant les parents, nous incitent à nous en tenir à la profession du père.

Une autre caractéristique des lycées d'enseignement général est la forte proportion des filles (60% contre 40% pour les garçons). Leurs possibilités de départ du lycée sont plus limitées que pour les garçons. Ces derniers vont plus fréquemment vers la vie active, les lycées professionnels et agricoles.

6. L'ÉCHANTILLON

En première : il se compose de 142 élèves répartis dans six lycées publics du Grand Ouest français. Ils appartiennent à des villes à population limitée : Fougères et Avranches, à une ville moyenne : La Baule, à des métropoles régionales : Angers et Nantes et à la région parisienne : Versailles. Les tableaux d'effectifs (annexe 1) permettent d'observer que 47 des élèves de première sur 142 appartiennent à la série scientifique.

Les entrants dans l'enseignement supérieur correspondent à un effectif de 156 élèves. Ils appartiennent à un BTS secrétariat trilingue, à un BTS informatique, à un IUT GEA (gestion, économie, administration) et à une UEREPS (unité de recherche et d'enseignement en éducation physique et sportive). Les élèves de ces sections sont plus facilement disponibles pour une enquête, à la rentrée, que des étudiants en milieu universitaire, qui sont à cette période mobilisés par des informations et inscriptions pédagogiques. Les tableaux d'effectifs (annexe 1) indiquent que 63 des 156 entrants dans le supérieur ont obtenu un baccalauréat scientifique : 20 de la série (C) et 43 de la série (D). Parmi ces effectifs, on observe une présence légèrement supérieure des filles (35 contre 28 pour les garçons) ; elles sont surtout majoritaires dans les séries (D). Les MSC+ et MSC– sont presque également répartis : respectivement 33 et 30.

7. MÉTHODES ET COLLECTE DES DONNÉES

7.1. Le choix d'un questionnement ouvert

Compte tenu des observations précédentes (études réalisées jusqu'alors, contraintes scolaires, recherche d'appréciations pluridisciplinaires au lycée), l'élaboration d'un questionnaire ouvert s'impose. Un test pilote auprès d'élèves de première et d'entrants dans le supérieur a permis de préciser la rédaction définitive de ce questionnaire : «Quels sont les capacités et les moyens à mobiliser à ton avis en mathématiques, en histoire...» (voir annexe 2). Il est apparu que cette présentation était la plus suggestive et la plus impliquante pour les lycéens. La formulation «moyens en...» incitait à une expression large non limitée aux seuls apprentissages strictement scolaires. Les capacités mettaient les élèves sur la piste de l'intelligence et d'autres qualités. La présence de ces deux termes (capacités et moyens) constituait un cadre de référence indispensable tout en permettant une prégnance forte pour l'expression des élèves. Certains ont respecté cette dichotomie dans la forme et le fond, beaucoup n'ont pas eu ce souci. L'ordre des neuf disciplines a été tiré au sort. Les données d'identification sont constituées du sexe, de la profession du père, de la section suivie et de l'année de naissance. La passation se réalise sur un mode collectif, en ma présence, sur une durée de une heure trente à deux heures.

7.2. L'analyse de contenu

Le choix d'un questionnaire très ouvert implique une analyse de son contenu, c'est-à-dire la prise en compte d'éléments, d'unités significatives de réponse, de thème. Ces unités s'avèrent très nombreuses : «aimer la discipline», «intérêt pour la discipline», «bases dans la discipline», «logique», «réflexion», «compréhension», «mémoire», «persévérance», «organisation du travail», «apprendre le cours», «ambiance de classe, entraide des élèves», «aide des professeurs», «audiovisuel», «aménagement éducatif, enseignement plus concret»...

Il est donc nécessaire d'établir des catégories où seront rangées les unités de réponse (items). Ces unités sont pour certaines communes à l'ensemble des disciplines et des élèves : «mémoire», «persévérance», etc. D'autres, au contraire, sont spécifiques à certaines matières et à certains élèves, par exemple : «réagir comme une machine» en mathématiques, «savoir lire entre les lignes» en français... Les unités de réponses communes nous conduisent à des interrogations. Quelles significations leur attribuer ? Une comparaison serait-elle possible de discipline à discipline ? Il apparaît à la lecture des réponses au questionnaire que chaque lycéen semble traiter

l'ensemble des disciplines selon le même schéma perceptif, la même organisation de représentations, le même prisme. Il semble également que les contenus sémantiques d'éléments communs tels que : «intelligence», «travail régulier»... soient très proches d'un élève à un autre. De plus, les items communs aux disciplines recouvrent la plupart des matières.

Les observations précédentes permettent de déterminer six catégories pour l'ensemble des disciplines : intérêts et bases, capacités, facteurs volitionnels, méthodes d'apprentissage personnelles, aides pédagogiques externes, facteurs de communication. Ces catégories ont été construites selon des règles précises d'élaboration : exclusion mutuelle, homogénéité, exhaustivité, pertinence, objectivité. Elles ont fait l'objet d'une évaluation convergente de la part de deux observateurs. Chacune contient à la fois des items communs à toutes les disciplines et des items spécifiques à chaque discipline. Dans le tableau ci-contre, nous ne présenterons par rubrique que les items communs aux matières retenues dans l'enquête.

Les facteurs de communication ne sont effectivement présents qu'en français, en langues et en éducation physique et sportive. Ils sont à l'état embryonnaire en sciences économiques et sociales, histoire et géographie (tableau n° 4, annexe 3). Les dimensions de communication, lorsqu'elles se situent dans un contexte scolaire précis, sont répertoriées dans l'item «ambiance de classe, entraide des élèves». Ce dernier est observable pour toutes les disciplines.

8. LA QUANTIFICATION

Ces items communs semblent correspondre à des présences plus ou moins marquées selon les disciplines et les élèves. **Il est donc souhaitable d'établir un comptage, une quantification des tendances principales. Chaque item observé correspond à une unité** (lorsqu'il est mentionné plusieurs fois dans une même discipline pour un même élève, il n'est compté qu'une seule fois). Les effectifs obtenus pour chacun des items peuvent être regroupés au sein de leur catégorie d'appartenance. On obtient alors l'effectif total de la catégorie. **Il est alors possible de dresser un tableau d'effectifs pour les six catégories et les neuf disciplines pour les élèves des sections scientifiques au lycée** (annexe 3).

Catégories	Items communs
intérêts et bases	«aimer la discipline» «intérêt pour la discipline» «bases dans la discipline»
capacités	«qualités neurologiques, don, rapidité» «mémoire» «logique» «raisonnement, analyse, synthèse, déduction» «compréhension» «rigueur, clarté, précision, réflexion»
facteurs volitionnels	«ouverture d'esprit, objectivité, curiosité» «attention, concentration» «persévérance» «travail régulier» «imagination, créativité» «dynamisme, expérience de vie»
méthodes d'apprentissage personnelles	«apprendre le cours» «faire des exercices» «s'informer, apprendre hors cours» «apprendre par cœur» «approfondir» «appliquer le cours» «lectures» «savoir comparer»
aides pédagogiques externes	«aide des professeurs» «ambiance de classe, entraide des élèves» «apports externes» «audiovisuel» «aménagement éducatif, enseignement plus concret» «livres»
facteurs de communication	«expression, communication» «débat, discussions» «sociabilité»

9. LE CHOIX D'UNE MÉTHODE DE TRAITEMENT DES DONNÉES (ACP)

L'analyse des effectifs (tri à plat) par catégorie dégage certes les grandes tendances, mais cette technique trouve ses limites dans le fait qu'elle traite successivement les catégories sans les mettre en rapport. **Les analyses multidimensionnelles prennent au contraire en compte simultanément toutes les réponses à toutes les questions.** Ce type d'analyse dégagera ainsi quelles représentations (catégories) appartiennent à un même ensemble ou à une même constellation et quelles autres s'en trouvent exclues. L'analyse en composantes principales (ACP) a pour objet de «*présenter sous une forme graphique le maximum de l'information contenue dans le tableau des données*» (Philippeau, 1986, p. 5). L'analyse multidimensionnelle dans notre étude ne prendra en compte que les catégories et non les items. L'entrée des données a été réalisée de la manière suivante.

Chaque catégorie constitue une variable. Le total est de 6. Chacune est symbolisée par deux ou trois lettres :

IB	intérêts et bases
CA	capacités
FV	facteurs volitionnels
MAP	méthodes d'apprentissage personnelles
APE	aides pédagogiques externes
FC	facteurs de communication

La liste ci-dessous présente les différents groupes d'élèves dont les réponses ont permis de constituer les lignes du tableau sur lesquelles l'ACP a été effectuée. Les données prises en compte dans l'analyse statistique sont des effectifs (et non des fréquences) d'un tableau croisé disciplines/catégories **élaboré pour les élèves de séries scientifiques** (qui ne constituent pas la totalité de l'échantillon : seuls 47 sur 142 en première et 63 sur 156 pour les entrants dans le supérieur appartiennent à une série scientifique, cf. paragraphe 6).

Chaque groupe d'élèves constitue ainsi une observation (9 au total) :

- 1 : réponses des élèves scientifiques en maths
- 2 : réponses des élèves scientifiques en sciences physiques
- 3 : réponses des élèves scientifiques en sciences naturelles
- 4 : réponses des élèves scientifiques en sciences économiques et sociales
- 5 : réponses des élèves scientifiques en histoire
- 6 : réponses des élèves scientifiques en géographie
- 7 : réponses des élèves scientifiques en français

8 : réponses des élèves scientifiques en langues

9 : réponses des élèves scientifiques en éducation physique et sportive.

Comment se présentent les résultats d'une ACP ?

Cette méthode est factorielle car la réduction du nombre des caractères ne se fait pas par une simple sélection de certains d'entre eux, mais par la construction de nouveaux caractères synthétiques obtenus en combinant les caractères initiaux au moyen de facteurs. Parmi ces derniers, l'ACP recherche d'abord celui pour lequel la variance des groupes est maximale : cet indice est appelé première composante principale ou axe principal. Une certaine proportion de la variation totale des groupes est expliquée par cette composante principale. Ensuite une deuxième composante est recherchée. Elle fournit la plus grande information complémentaire à la première. Nous étudierons le plan engendré par les axes 1X2 appelé «plan principal». Les plans factoriels suivants : 1X3, 1X4, 1X5 complètent l'information.

Les tableaux statistiques de l'ACP permettent l'étude des variables (catégories) et des groupes d'élèves. Quelques précisions et exemples rendront la lecture plus aisée.

L'étude des variables (catégories) : tableau n° 5 (annexe 4)

Exemple de lecture : les données chiffrées ci-dessous situent les parts explicatives de chacun des axes (1 et 2) auprès des catégories «intérêts et bases» (IB) et «capacités» (CA) pour la population des élèves scientifiques :

	AXE 1		AXE 2	
IB	0.5829	0.3398	-0.5308	0.2828
CA	-0.1426	0.0203	-0.8545	0.7301

La première colonne est celle des corrélations entre les variables et les axes principaux. La seconde correspond aux corrélations au carré. Pour la variable IB, 0.3398 signifie que, pour les élèves scientifiques, 33% de la variance des réponses est expliquée par l'axe 1 (facteur 1).

La même lecture peut être réalisée auprès du groupe d'élèves scientifiques pour chacune des neuf disciplines : tableau n° 6 (annexe 4)

Par exemple en maths :

	AXE 1		AXE 2	
	-0.9359	0.1526	-1.5540	0.4206

La première colonne représente les coordonnées des groupes d'élèves sur les axes principaux. La seconde correspond aux cosinus carrés (qualité de la représentation). 0.1526 signifie que 15% de la variance des réponses est expliquée par l'axe 1 (facteur 1).

Deux types de graphique sont proposés dans cette méthode.

Le premier est constitué par le «**cercle des corrélations**». Il permet d'observer l'organisation des variables (IB, CA, FV, MAP, APE, FC) sur le plan des axes considérés (exemple : figure n°1, annexe 4). La structure des variables est obtenue à partir de leurs corrélations avec les axes principaux. On remarquera qu'une variable est d'autant mieux représentée sur le plan qu'elle est plus proche du cercle. Les variables doivent être reliées au centre pour obtenir les directions. Ces dernières, en ACP, permettent l'interprétation des variables.

Le second type de graphique présente une répartition des groupes sur le plan des axes. Le plus explicite est celui des axes 1 et 2. Un groupe d'élèves est codé par un chiffre : 001 pour le groupe des scientifiques en mathématiques (exemple : figure n°2, annexe 4). La proximité apparente de certains groupes d'élèves sur les plans 1X2 (et autres) n'est pas toujours significative. Lorsque la somme des cosinus carrés sur les axes considérés est supérieure à 0.50, les groupes sont bien représentés. En revanche, lorsque la somme a des valeurs inférieures à 0.20, ils sont beaucoup plus différents qu'une lecture rapide du plan pourrait le laisser croire.

10. LA LECTURE DES PLANS FACTORIELS

Les statistiques élémentaires (annexe 4) montrent un nombre élevé d'items pour la catégorie «capacités». Elles occupent une part importante du champ des représentations des élèves scientifiques au lycée, sans occulter pour autant les autres catégories représentatives.

Les parts explicatives des axes sont les suivantes : 1 (37.9%), 2 (30.8%), 3 (19.9%), 4 (9.1%), 5 (1.8%). Les axes 1 et 2 représentent 69% de la variance totale. Nous envisageons uniquement l'étude des plans 1X2 et 1X3. Les autres, 1X4 et 1X5, n'ont pas une valeur explicative suffisante.

10.1. Le plan factoriel 1X2 (figures n°1 et n°2, annexe 4)

L'axe 1 isole à l'un des pôles les facteurs de communication (FC), les apports pédagogiques externes (APE). **Il représente la réussite explicable par l'environnement.** Les élèves semblent être le produit de ce contexte. **À l'autre pôle, est présente la réussite par les capacités, le don.** Là également, l'élève n'a pas de prise sur la réalité.

L'axe 2 oppose, par contre, les aides pédagogiques externes (APE), les facteurs de communication (FC), à un ensemble comprenant les capacités (CA), les méthodes d'apprentissage personnelles (MAP), les intérêts et les bases (IB) et les facteurs volitionnels (FV). **On observe une**

opposition entre les dimensions personnelles : soi (CA), (FV), (IB) et (MAP) **et les dimensions collectives** : les autres (APE) et (FC).

Quatre pôles sont observables :

1) **Les sciences** (mathématiques, sciences physiques, sciences naturelles) sont très peu différenciées entre elles. Elles se caractérisent par les capacités, le don.

2) **Le français** se situe du côté des méthodes d'apprentissage personnelles, ainsi que des intérêts et des bases. L'élève apparaît plus maître de son destin, capable de personnaliser ses apprentissages.

3) **Les langues** se caractérisent par les apports pédagogiques externes et les facteurs de communication. La réussite dans cette discipline, n'est pas «dans l'élève» mais dans son environnement.

4) **Un ensemble de disciplines ne sont pas positivement caractérisées** aux yeux des élèves scientifiques : l'histoire, la géographie, l'éducation physique et sportive et particulièrement les sciences économiques et sociales.

En conclusion, les élèves des séries scientifiques : première et terminale (C) et (D) au lycée **ont une image des sciences très homogène où les influences externes à l'individu sont réduites. C'est un domaine individuel où règne le don.** Pas de représentations différenciées, par exemple, entre mathématiques et sciences naturelles (biologie). **Ces élèves dissocient, par contre, les langues du français. Les premières sont perçues essentiellement comme extrascolaires : apports externes et communication** (séjour à l'étranger...). Elles apparaissent comme le résultat d'un environnement. **Le français présente un autre visage. L'initiative de l'élève est perceptible. Il peut personnaliser et modifier ses apprentissages** : apports des motivations individuelles, d'intérêts et de bases. Les autres disciplines ne sont pas caractérisées positivement auprès des scientifiques, particulièrement les sciences économiques et sociales. Ces dernières ne sont pas enseignées dans les séries scientifiques au sein des lycées d'enseignement général.

10.2. Le plan factoriel 1X3 (figures n°3 et n°4, annexe 4)

On retrouve les significations de l'axe 1. L'un des pôles exprime la réussite expliquée par le don, les capacités (CA). Le second traduit la réussite expliquée par l'environnement : (APE) et (FC).

L'axe 3 décrit, par contre, des dimensions affectives. S'opposent au pôle négatif : la volonté, la persévérance (FV) et au pôle positif : les intérêts et les bases (IB).

Quatre ensembles de disciplines sont observés sur le plan 1X3 :

1) **Les mathématiques et l'éducation physique et sportive** exigent de la volonté et de la persévérance pour réussir. Elles sont caractérisées par les capacités et surtout les facteurs volitionnels.

2) **Les langues** se définissent par les facteurs de communication et à un moindre degré par les facteurs volitionnels.

3) **Le français** est expliqué par la catégorie intérêts et bases.

4) **Un ensemble de disciplines** où les catégories n'ont pas de pouvoir explicatif. Il s'agit de l'histoire, de la géographie, des sciences économiques et sociales et des sciences naturelles.

En conclusion, il y a lieu de **distinguer les enseignements où prédominent les intérêts** (la nécessité de bases est cependant présente). **Le français l'illustre particulièrement**. Ils peuvent être synonymes d'apprentissages ouverts, accessibles, divergents, de culture. **Mathématiques et éducation physique et sportive supposent, au contraire, volonté, effort, attention, concentration**. Les apprentissages scolaires sont perçus comme plus fermés. Sur ce plan factoriel, l'ensemble des sciences n'affiche plus la même homogénéité que sur le plan 1X2. Sciences physiques et naturelles semblent exiger moins de qualités d'accommodation au milieu scolaire pour réussir, qu'en mathématiques.

11. SYNTHÈSE

Les perceptions des élèves des séries scientifiques démontrent des approches relativement scolaires des disciplines. L'histoire, la géographie et les langues n'ont pas cette image d'ouverture, de culture, de créativité, d'initiative personnelle que l'on aurait pu attendre. Elle est par contre celle du français. Dans les sciences, les références exprimées semblent plus souvent des qualités d'accommodation au milieu scolaire. Ce qui sous-entend : «travail régulier», «organisation du travail», «attention, concentration», «persévérance», etc. **Les valeurs présentes sont générales et abstraites** (les méthodes d'apprentissage personnelles n'ont d'ailleurs pas de présence effective en sciences, preuve sans doute du peu de préoccupation suscitée par ces dernières). **Ces élèves n'expriment pas non plus complètement certaines valeurs culturelles** personnelles, à savoir : «ouverture d'esprit», «s'informer, apprendre hors du cours», «apports externes»... **L'environnement scolaire des élèves scientifiques au lycée et les valeurs de prestige et d'utilité conférées aux sciences (ces disciplines exigent surtout des apprentissages convergents, abstraits), conduisent ces élèves à construire leurs représentations autour de qualités opérationnelles telles que «raisonnement, analyse, synthèse,**

déduction». Le dépouillement des questionnaires en révélait d'ailleurs la prédominance et également la projection auprès de la presque totalité des disciplines. Une image s'impose lors de la découverte du champ de représentations de ces élèves : celle d'un dialogue étroit, technique, assez peu ouvert sur l'extérieur entre l'élève de série scientifique et ses disciplines.

12. CONCLUSION

Comme nous l'avons dit plus haut, les rares études antérieures à propos des représentations des capacités et des moyens à mobiliser pour réussir dans les disciplines au lycée, nous avaient montré que les élèves appartenant à des mêmes groupes scolaires avaient des représentations qui se ressemblaient. On pouvait donc supposer que l'appartenance à des sections scientifiques au lycée devait être liée à une structure caractéristique des représentations. Les résultats du traitement des données par l'analyse factorielle (ACP) semblent vérifier l'hypothèse posée. **Le champ des représentations des élèves scientifiques présente effectivement richesse des informations et organisation.** La synthèse précédente vient d'ailleurs d'en souligner la spécificité, l'originalité. Peut-on alors dessiner la carte représentative des disciplines ? **Des processus représentatifs d'assimilation et de différenciation établissent des proximités et des distances entre disciplines. Mathématiques, sciences physiques et sciences naturelles (le plus souvent) mais aussi histoire et géographie sont rapprochées. Sont nettement dissociées, français et langues, sciences et langues, mais aussi les sciences et l'ensemble des sciences sociales** (histoire, géographie, sciences économiques et sociales). Cette dernière discipline n'est jamais caractérisée auprès des élèves scientifiques. **Les perceptions semblent, par conséquent, organisées par pôles : les sciences, le français, les langues et enfin toutes les autres disciplines (moins typées pour les élèves scientifiques). Ces derniers possèdent une cartographie spécifique des disciplines.**

Cette première étude des représentations des capacités et des moyens chez les élèves scientifiques au lycée, à un niveau pluridisciplinaire large, devrait susciter des enquêtes complémentaires. Elles pourraient, par exemple, avoir pour sujet de recherche l'origine de ces représentations. Sont-elles l'expression d'une pratique, d'une expérimentation personnelle ou la reprise de discours dominants (enseignants, parents) ? La perception des sciences sociales par ces élèves mériterait également des approfondissements.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI J.P. (1984). L'analyse des représentations des élèves en sciences expérimentales. *Revue Française de Pédagogie*, n°68, pp. 18-25.
- AUDIGIER F. (1987). *Les représentations des élèves de CM2 et de 6ème en histoire et géographie*. Paris, INRP.
- BARDIN L. (1977). *L'analyse de contenu*. Paris, PUF.
- BAUTIER-CASTAING E. & ROBERT A. (1988). Réflexions sur le rôle des représentations métacognitives dans l'apprentissage des mathématiques. *Revue Française de Pédagogie*, n°81, pp. 5-17.
- BOUNOURE A., DELCAUX M. & PASTIAUX J. (1987). *L'enseignement du français vu par les lycéens et leurs professeurs*. Rapport de recherche, n°7. Paris, INRP.
- BOUROCHE J.-M. & SAPORTA G. (1983). *L'analyse des données*. Collection Que sais-je ? Paris, PUF.
- CAMBON J. & WINNYKAMMEN F. (1977). In A. Léon (Éd.), *Manuel de Psychopédagogie expérimentale*. Paris, PUF.
- DUBET F. (1990). *Les lycéens*. Paris, Seuil.
- FLAMENT C. (1989). Structure et dynamique des représentations sociales. In D. Jodelet (Ed.), *Les représentations sociales*. Paris, PUF, pp. 205-219.
- IREM (1988). *Les mathématiques et vous*. Strasbourg, IREM.
- JAVEAU C. (1987). *L'enquête par questionnaire*. Bruxelles, Éditions de l'Université.
- JODELET D. (1989). *Les représentations sociales*. Paris, PUF.
- LÉZIART J. (1994). *Les représentations des capacités et des moyens dans les disciplines au lycée. Les connaissances métacognitives des élèves*. Thèse, Université de Lille 3.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1988). *Repères et références statistiques sur les enseignement et la formation*. Paris, Direction de la prospective.
- MOSCOVICI S. (1961). *La psychanalyse, son image et son public*. Paris, PUF.
- PHILIPPEAU G. (1986). *Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ?* Boigneville, Service des études statistiques de l'ITCF.

ANNEXE 1 : Tableaux d'effectifs

Niveaux	Modalités				
	G	F	MSC-	MSC+	TOTAL
première	56	86	81	61	142
entrée supérieur	57	99	85	71	156
total	113	185	166	132	298

Tableau 1 : Effectifs par niveau de scolarité selon les modalités garçons/ filles (G, F) et milieu socioculturel d'origine des élèves (MSC-, MSC+)

séries S	G	F	MSC-	MSC+	TOTAL
première	32	15	16	31	47
entrée supérieur	28	35	30	33	63
total	60	50	46	64	110

Tableau 2 : **Effectifs des élèves des séries scientifiques au lycée pour les modalités garçons/filles, MSC-/MSC+**

FILIÈRES	BACS	SEXE	MSC-	MSC+	TOTAL
BTS informatique	C	G	1	1	2
		F	2	2	4
	D	G	1	0	1
		F	1	0	1
IUT GEA	C	G	0	0	0
		F	0	0	0
	D	G	0	0	0
		F	3	2	5
UER EPS	C	G	3	5	8
		F	2	4	6
	D	G	8	9	17
		F	9	10	19
TOTAUX		total G	13	15	28
		total F	17	18	35
		total général	30	33	63

Tableau 3 : **Effectifs des élèves de séries scientifiques au lycée admis dans chaque filière.** Par exemple, 5 filles de terminale (D) ont été admises dans la filière IUT GEA (gestion, économie, administration). (Le BTS trilingue fait partie dans cette enquête, de l'échantillon des élèves entrants dans le supérieur. Ses effectifs en élèves scientifiques recrutés sont nuls. C'est pourquoi il n'est pas mentionné dans ce tableau.)

ANNEXE 2 : Questionnaire

Cette enquête est destinée à mieux connaître les représentations des lycéens à l'égard des disciplines enseignées au lycée.

Ce questionnaire est anonyme.

Il est nécessaire de répondre avec précision et sincérité à toutes les questions.

MERCI.

EXEMPLAIRE DE QUESTIONNAIRE REMPLI

Par souci d'anonymat, certaines données d'identification des productions lycéennes seront occultées, c'est-à-dire :

*profession du père

*lycée

*année de naissance

ne seront présentés que le sexe et la section suivie.

Garçon bachelier scientifique (D) entrant UEREPS

1) Quels sont les capacités et les moyens qu'il faut mobiliser, à ton avis, en mathématiques ?

Les capacités sont : la mémoire, la faculté d'assimilation, la compréhension de choses plus abstraites que dans d'autres matières, pouvoir suivre un raisonnement plus ou moins long et complexe avec plusieurs déviations pour revenir à un but final, savoir lire un énoncé et bien l'interpréter pour ensuite faciliter la réponse.

Les moyens sont : apprendre à mémoriser ou entretenir sa propre mémoire, écrire vite et bien, avoir un travail soutenu et régulier pour garder les mécanismes déjà acquis.

2) Quels sont les capacités et les moyens qu'il faut mobiliser, à ton avis, en langues ?

Il faut bien sûr, comme en maths, de la mémoire, facilité d'assimilation, savoir bien lire et surtout il faut ne pas être timide et être capable de s'exprimer devant une classe à vive voix, avoir la capacité de rendre la langue d'origine et celle apprise dépendante et indépendante à la fois, c'est-à-dire pouvoir parler par exemple anglais sans traduire dans sa tête en français tout en comprenant le sens aussi vite que dans sa langue natale.

3) Quels sont les capacités et les moyens à mobiliser, à ton avis, en sciences économiques et sociales ?

4) Quels sont les capacités et les moyens à mobiliser, à ton avis, en français ?

Il faut de la mémoire, lire beaucoup, avoir un large éventail de sujets dans ses connaissances et sa culture générale, savoir s'exprimer par écrit tout en ayant un langage plus simple et moins riche. De même qu'en anglais, savoir commenter un texte devant différentes personnes (classe, examinateur, vaincre l'angoisse d'un examen).

5) Quels sont les capacités et les moyens à mobiliser, à ton avis, en sciences naturelles ?

Avoir beaucoup de mémoire, savoir utiliser schémas et croquis, etc. Savoir visualiser ces schémas et par exemple ne pas confondre dans des diapositives, l'ultra-structure et la structure. Savoir faire le lien avec les chapitres antérieurs relativement éloignés, avoir l'envie de connaître ce que l'on est pour pouvoir expliquer certains phénomènes de notre vie de tous les jours. Savoir interpréter clairement aussi bien un sujet facile que difficile.

6) Quels sont les capacités et les moyens à mobiliser, à ton avis, en histoire ?

Surtout de la mémoire et de la précision dans la mémoire.

7) Quels sont les capacités et les moyens qu'il faut mobiliser, à ton avis, en sciences physiques ?

Mémoire, visualisation, côté manipulateur.

8) Quels sont les capacités et les moyens qu'il faut mobiliser, à ton avis, en géographie ?

Beaucoup de mémoire, un esprit de comparaison et d'analyse comparée.

9) Quels sont les capacités et les moyens qu'il faut mobiliser, à ton avis, en éducation physique et sportive ?

Ne pas refuser l'effort physique, aimer jouer, aimer le contact physique avec les gens, avoir envie d'échanger ses sentiments, ses impressions, aimer la «souffrance physique» pour aboutir à un résultat, une performance personnelle (vaincre un appareil, un adversaire), avoir la volonté d'aller toujours plus loin, avoir l'esprit de compétitivité.

Les moyens physiques de chacun peuvent être très faibles. Il faut savoir «souffrir» et de ce fait contrôler la douleur jusqu'à l'insupportable et bien connaître son corps (anatomie).

ANNEXE 3 : Tableau croisé catégories/disciplines

	maths	sc. phys.	sc. nat.	SES	hist.	géo.	français	langues	EPS	total
IB	42	44	63	36	53	55	71	44	38	446
CA	304	254	267	49	186	148	142	135	129	1614
FV	126	84	67	21	39	51	101	75	150	714
MAP	114	114	113	23	130	109	225	119	90	1037
APE	33	23	43	29	39	65	51	113	47	443
FC	0	0	0	7	11	8	49	56	39	170
Total	619	519	553	165	458	436	639	542	493	4424

Tableau 4 : **Effectifs par catégorie et par discipline chez les élèves scientifiques**
 IB (intérêts et bases) CA (capacités) FV (facteurs volitionnels) MAP (méthodes d'apprentissage personnelles) APE (aides pédagogiques externes) FC (facteurs de communication).

ANNEXE 4 : RÉSULTATS DE L'ACP

ACP sur données centrées réduites (matrice de corrélations)

Nombre de variables prises en compte dans l'analyse : 6

Nombre de variables supplémentaires : 0

Nombre d'axes demandés : 5

Statistiques élémentaires

Variables	Moyennes	Écart-types de la série				
IB	49.556	11.1466				
CA	179.333	76.5271				
FV	79.333	38.9672				
MAP	115.22 2	48.8439				
APE	49.222	25.4461				
FC	18.889	21.2939				

Corrélations						
	IB	CA	FV	MAP	APE	FC
IB	1.000					
CA	0.191	1.000				
FV	-0.096	0.340	1.000			
MAP	0.791	0.264	0.321	1.000		
APE	0.086	-0.299	-0.006	0.194	1.000	
FC	0.129	-0.502	0.334	0.435	0.706	1.000

Diagonalisation

1^{re} ligne : valeurs propres (variances sur les axes principaux)

2^e ligne : contribution à la variation totale (pourcentages expliqués par les axes principaux)

2.2762	1.8484	1.1915	0.5455	0.1099
37.9 %	30.8 %	19.9 %	9.1 %	1.8 %

1^{re} colonne : corrélations entre les variables et les axes principaux

2^e colonne : corrélations au carré

Variables	Composantes principales									
	Axe 1		Axe 2		Axe 3		Axe 4		Axe 5	
IB	-0.5829	0.3398	-0.5308	0.2818	0.5751	0.3307	-0.0773	0.0060	-0.2015	0.0406
CA	-0.1426	0.0203	-0.8545	0.7301	-0.2355	0.0555	0.4302	0.1851	0.0641	0.0041
FV	0.3394	0.1152	-0.3076	0.0946	-0.8632	0.7451	-0.1530	0.0234	-0.1428	0.0204
MAP	0.8062	0.6500	-0.5287	0.2795	0.1258	0.0158	-0.1162	0.0135	0.1882	0.0354
APE	0.6612	0.4372	0.5062	0.2562	0.0014	0.0000	0.5481	0.3004	-0.0608	0.0037
FC	0.8448	0.7137	0.4540	0.2061	-0.2108	0.0445	-0.1308	0.0171	0.0752	0.0057

Tableau n° 5 : Étude des variables

Exemple : pour la variable IB (intérêts et bases) 0.3398 signifie que 33 % de la variance des réponses intérêts et bases est expliquée par l'axe 1.

1^{re} colonne : coordonnées des individus sur les axes principaux

2^e colonne : cosinus carrés (qualité de la représentation)

Individus	Axe 1		Axe 2		Axe 3		Axe 4		Axe 5	
mathématiques 001	-0.9359	0.1526	-1.5540	0.4206	-1.4879	0.3856	0.4597	0.0368	0.1127	0.002
sciences physiques 002	1.2195	0.4854	-1.1159	0.4064	-0.4006	0.0524	-0.0081	0.0000	0.4136	0.055
sciences naturelles 003	-0.3416	0.0314	-1.4889	0.5965	0.8043	0.1741	0.5893	0.0935	-0.5575	0.083
SES 004	-2.3156	0.4818	2.1358	0.4099	0.7998	0.0575	-0.7487	0.0504	0.0018	0.000
histoire 005	-0.3435	0.0754	-0.3321	0.0705	1.0684	0.7296	-0.0474	0.0014	0.4363	0.121
géographie 006	-0.0188	0.0002	0.3408	0.0727	1.0055	0.6331	0.4317	0.1167	-0.3650	0.083
français 007	2.9380	0.7636	-0.9461	0.0792	0.6650	0.0391	-1.1527	0.1175	0.0805	0.000
langues 008	1.9528	0.3844	2.0690	0.4314	-0.3742	0.0141	1.2771	0.1644	0.2187	0.004
EPS 009	0.2842	0.0135	0.8915	0.1333	-2.0804	0.7259	-0.8010	0.1076	-0.3411	0.019

Tableau n° 6 : Étude des individus (groupes d'élèves)

Exemple : pour les mathématiques 0.1526 signifie que 15% de la variance des réponses des scientifiques est expliquée par l'axe 1.

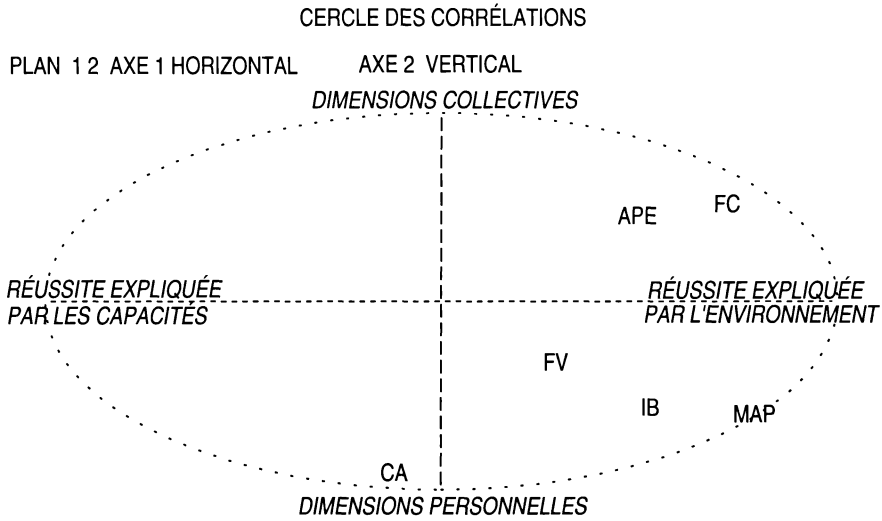


Figure n° 1

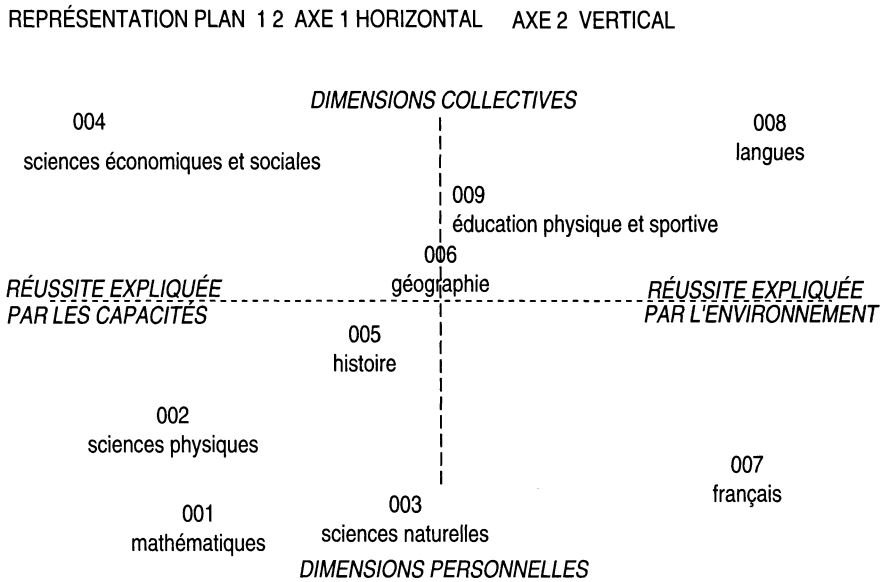


Figure n° 2

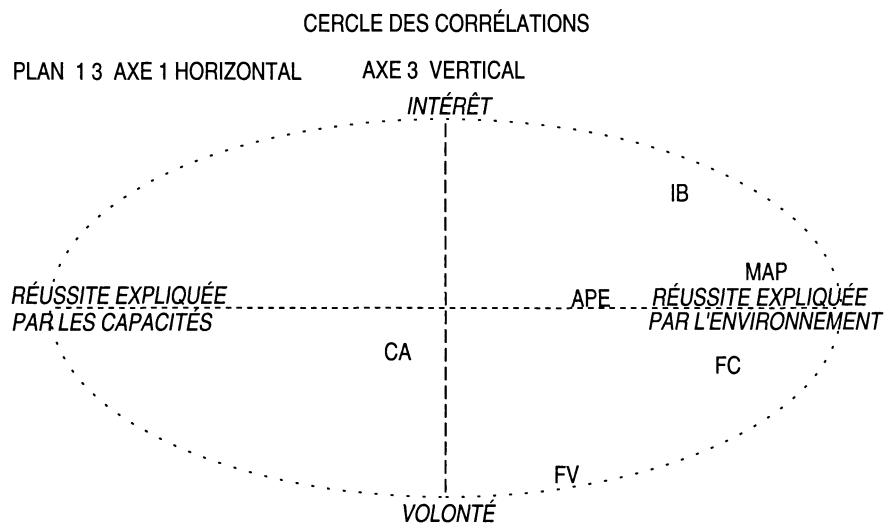


Figure n° 3

REPRÉSENTATION PLAN 1 3 AXE 1 HORIZONTAL AXE 3 VERTICAL

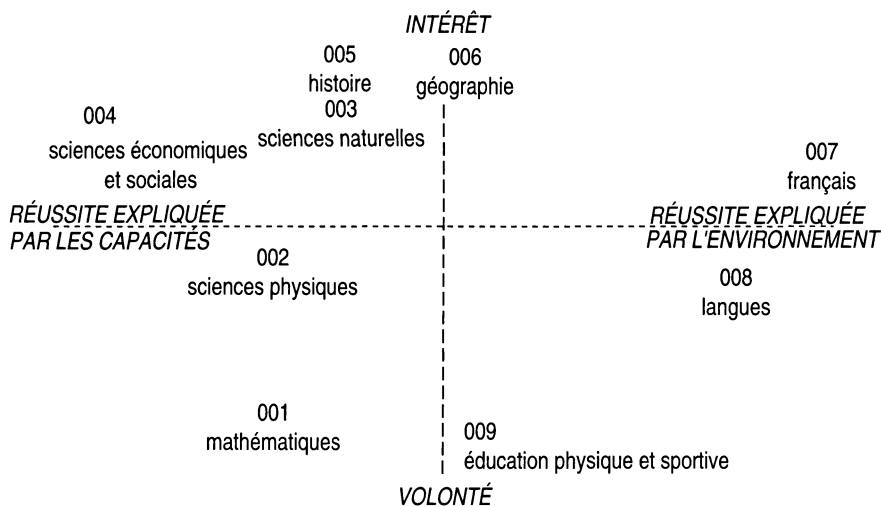


Figure n° 4

Ces dernières années ont vu se mettre en place en France des épreuves écrites d'analyse de protocoles expérimentaux à l'examen de fin d'études secondaires (baccalauréat) ; des épreuves d'évaluation d'activités expérimentales sont actuellement testées. Cette mise en place a suscité des réflexions sur la place des activités expérimentales dans l'enseignement des sciences physiques. Michel Giuseppin nous fait part ici de son point de vue forgé dans son expérience de l'enseignement supérieur et secondaire et dans sa pratique de professeur d'École Normale puis d'Inspecteur Pédagogique Régional.

Place et rôle des activités expérimentales en sciences physiques

Michel GIUSEPPIN

Rectorat de l'Académie
Place Saint Jacques
31073 Toulouse cedex, France.

Résumé

Ce point de vue propose une analyse des différentes fonctions des activités expérimentales dans un enseignement de sciences physiques. Sont explicités les apports spécifiques des expériences réalisées par l'enseignant et les différentes perspectives dans lesquelles peuvent s'inscrire les activités expérimentales des élèves. Des propositions concernant le développement de démarches expérimentales sont formulées.

Mots clés : activités expérimentales, modélisation, professeur, élèves.

Abstract

This point of view proposes an analysis of the different functions of experimental activities in physics and chemistry teaching. The specific characteristics of demonstrations done by the teacher and those of the students' labwork are made explicit. Propositions concerning the development of experimental methods are formulated.

Key words : *experimental activities, modelisation, teacher, pupils.*

Resumen

Este punto de vista propone un análisis de las diferentes funciones de las actividades experimentales en la enseñanza de la física. Son explicitados los aportes específicos de las experiencias realizadas por el enseñante y las diferentes perspectivas en las cuales pueden inscribirse las actividades experimentales de los alumnos. Algunas proposiciones concernientes al desarrollo de procedimientos experimentales son formuladas.

Palabras claves : *actividades experimentales, modelización, profesor, alumnos.*

«Les sciences physiques étant une discipline expérimentale, il faut accorder beaucoup d'importance aux activités pratiques» est une phrase très souvent prononcée, qui revient comme un slogan dans de nombreux propos ou documents. S'agit-il d'un postulat, d'une mode, d'une conviction ? Avant de répondre à cette interrogation, il est possible de l'aborder d'une autre manière, en posant la question suivante : que serait l'enseignement des sciences physiques s'il n'y avait aucune approche expérimentale ? Les sciences physiques seraient alors l'objet d'une approche privilégiant l'aspect mathématique ; la confrontation des résultats avec la réalité serait alors difficile voire impossible. L'activité principale demandée aux élèves serait la résolution d'exercices de physique et de chimie. Devant un problème simple, la question immédiate que se poserait l'élève serait le plus souvent «quelle formule appliquer ?». Pour une situation problème plus complexe, la démarche s'apparenterait beaucoup à celle des mathématiques. Aux difficultés propres à cette discipline s'ajouterait celle de donner un sens physique à chacun des paramètres $x, y, z...$ de la fonction $f(x, y, z...)$ décrivant la situation étudiée. Un enseignement de sciences physiques qui n'aurait aucun support expérimental ne réussirait qu'à une élite apte à conceptualiser dans l'abstraction.

La description d'une situation expérimentale ne saurait remplacer l'observation réelle. Il me sera impossible d'oublier l'expression d'un collègue camerounais qui, voyant pour la première fois un télésiège lors d'une sortie dans les Pyrénées, eut la révélation de ce que pouvaient être ces fameux angles α (angle du sol avec le plan horizontal) et β (angle de la canne du télésiège avec la verticale). Si ce seul exemple ne saurait tenir lieu de démonstration, nous avons tous de tels exemples en mémoire. Me viennent également des souvenirs de mes difficultés liées à la géométrie dans l'espace, pour l'étude de problèmes de mécanique : la seule vue du dispositif m'aurait sans doute apporté une aide sensible dans la résolution du problème.

Qu'apportent les activités expérimentales ? Grâce à de nombreux allers-retours entre la réalité et sa modélisation, elles doivent permettre à une plus grande population d'élèves d'accéder à un bon niveau de conceptualisation. Les réflexions qui suivent, destinées à illustrer cette affirmation, doivent être placées dans un mouvement d'évolution générale affectant toutes les disciplines. Il pourrait, pour les sciences physiques, se traduire par le passage lent et progressif du «dire» au «faire» puis du «faire» au «faire faire».

En effet, l'enseignement de sciences physiques a été influencé par les apports des recherches didactiques des deux dernières décennies. La mise en place d'activités d'éveil dans les programmes de l'enseignement élémentaire a donné naissance à de nombreuses expériences pédagogiques auxquelles les professeurs de sciences physiques des Écoles Normales ont pris une part active. L'idée que l'élève doit être acteur de la construction de son savoir a germé sur ce terrain favorable. J'ai ainsi été témoin de situations dans lesquelles des élèves de CM1 et CM2 d'un tout petit village de campagne parvenaient, après deux séances de 45 minutes chacune, à estimer la durée du jour et de la nuit pour une ville donnée et une date donnée, ceci avec un globe terrestre, un projecteur de diapositives et quelques gommettes. J'aurais eu du mal à admettre un tel résultat si je n'en avais été témoin.

Les liens entre les Écoles Normales d'Instituteurs et les centres de formation de Professeurs de Collèges (PEGC) se sont établis ensuite. A ainsi diffusé dans l'enseignement des sciences physiques au collège l'idée que les élèves devaient être actifs et acteurs dans la construction de leur savoir.

Une classification élémentaire nous amène à faire la distinction entre activités expérimentales réalisées par le professeur et activités expérimentales réalisées par l'élève. Le terme d'activités expérimentales est préféré à celui de travaux pratiques (TP), car il est beaucoup plus général.

1. ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES ILLUSTRANT UN COURS

Elles se présentent sous la forme d'expériences disposées sur la paillasse, préparées à l'avance par le professeur. Elles ont comme objectif d'illustrer le concept ou la loi étudiée. Elles sont conçues exclusivement par le professeur. Quel est leur apport ?

- **Elles permettent une première approche qualitative du concept étudié.**

Cette approche qualitative est indispensable pour donner du sens à un concept. Le passage par le qualitatif est un point d'ancrage nécessaire à une majorité d'élèves. En son absence, on risque d'apporter aux élèves des réponses à des questions qui n'ont même pas été posées. Cette phase devrait permettre d'identifier les paramètres pertinents dans une situation donnée.

Quelle réalité aurait le phénomène d'induction électromagnétique s'il n'était pas introduit par des expériences qualitatives ? Quelle représentation du phénomène d'interférences ou de diffraction peut se faire un élève s'il n'a pas la possibilité d'observer les franges correspondantes et le dispositif expérimental qui permet de les obtenir ? Comment faire apparaître la différence de comportement entre un acide faible et un acide fort sans une petite expérience qualitative ? Il me semble que ce serait une erreur grave de court-circuiter cette première approche lorsqu'elle est possible, car elle permet à une majorité d'élèves de donner du sens à l'étude quantitative qui va souvent suivre.

- **Elles permettent de faire naître l'étonnement.**

Une démarche scientifique devrait s'appuyer sur le couple «étonnement - questionnement». L'expérience de cours peut déclencher cette dynamique. Pour cela il faut que le professeur joue le rôle de metteur en scène d'événements qu'il maîtrise parfaitement mais qui étonnent ses élèves. Il doit choisir les événements les plus appropriés à la problématique qu'il veut mettre en place. Le questionnement qui en découle est propice à l'émission d'hypothèses. Cette étape de formulation d'hypothèses, peu présente dans nos classes, développe la curiosité, l'imagination et la créativité des élèves. Il faut donc y apporter toute l'importance qu'elle mérite.

- **Elles permettent d'illustrer la démarche de structuration.**

Lorsqu'ils font leurs premiers pas dans l'apprentissage des sciences physiques, les élèves ne sont pas en mesure de pouvoir déduire toutes les conséquences de l'observation d'une expérience (quantitative ou qualitative). Il y a un apprentissage nécessaire. Apprendre à observer, c'est-à-dire sélectionner des faits expérimentaux, n'est pas une démarche intellectuelle spontanée. Cette démarche d'abord faite par le professeur, en interaction

constante avec la classe, permet aux élèves de comprendre le cheminement de la pensée entre les observations et les lois qui sont étudiées.

- **Elles permettent de réaliser des expériences particulières.**

Certaines situations expérimentales ne se prêtent pas à une expérimentation par tous les élèves. C'est le cas lorsque le dispositif expérimental n'existe qu'en un seul exemplaire (mouvement des particules dans des champs électriques ou magnétiques) ou lorsque les expériences sont dangereuses (réactions chimiques faites sous la hotte aspirante). L'expérience d'illustration de cours devient alors inévitable.

Dans ce domaine on peut également citer les expériences de saisie et de traitement automatique de données par un ordinateur lorsque l'établissement n'est pas doté d'une salle entièrement dédiée à l'EXAO. L'apport de l'ordinateur est tout à fait différent suivant qu'il est utilisé en illustration de cours ou qu'il est à la disposition des élèves. La rapidité de la saisie et du traitement des données permet au professeur de réaliser des séries de mesures permettant des comparaisons rapides sur le rôle d'un paramètre donné.

Nous avons souligné certains apports de l'expérience d'illustration de cours, il en existe sans doute d'autres. Nous allons maintenant tenter d'en cerner les limites.

Les limites des activités expérimentales illustrations de cours

Ces limites proviennent essentiellement des deux caractères intimement liés à la fonction de ces activités expérimentales : c'est le professeur qui conçoit le dispositif expérimental, c'est lui qui le réalise, même si parfois il sollicite l'aide ponctuelle d'un élève pour compléter le montage ou pour faire une mesure. Si le travail de conception est essentiel, la mise au point définitive du protocole expérimental est une phase particulièrement formatrice pour celui qui la réalise. Le choix des valeurs à donner aux paramètres résulte d'une analyse fine du modèle étudié et les derniers réglages d'un dispositif expérimental ont souvent consolidé les connaissances de celui qui les a faits. Les professeurs de sciences physiques savent à quel point la préparation d'une séance de travaux pratiques les amène à préciser leurs connaissances dans le domaine considéré. Je citerai ici un exemple personnel. Préparant pour un stage une expérience appelée « oscillateur à résistance négative », je plaçai dans le dispositif un potentiomètre 0-100 Ω pour « compenser » la résistance de la

bobine : 23 Ω . Après une heure d'essais infructueux, j'ai changé de potentiomètre pour un 0-1000 Ω : et cela a marché ! Explication : à la fréquence de l'oscillateur, la résistance de la bobine était de 133 Ω ; il me restait à comprendre pourquoi...

2. ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES RÉALISÉES PAR LES ÉLÈVES

Nous n'allons pas faire la distinction classique en TP et «TP-cours», mais nous allons plutôt considérer les activités expérimentales destinées à vérifier un modèle élaboré en cours, les activités expérimentales visant à découvrir et construire un modèle et les activités expérimentales ayant pour objectif d'utiliser un modèle dans la résolution d'une situation-problème.

- **Les activités expérimentales destinées à vérifier un modèle**

C'est la situation qui est rencontrée le plus couramment. Le professeur établit pendant son cours un modèle, soit par une démonstration, soit à l'aide d'expériences. La séance de travaux pratiques qui suit sera destinée à vérifier ce modèle. Une phrase des plus entendues est alors : «vous verrez ceci en TP».

La séquence d'activités expérimentales est souvent construite de manière à faire étudier séparément chaque paramètre intervenant dans le modèle. L'appareillage est parfois entièrement conçu et dédié à cette étude. Ainsi la platine prévue pour l'étude des mouvements circulaires uniformes permettait de pouvoir étudier la relation $f = m \omega^2 r$ en faisant varier successivement m (à ω et r constants), puis ω (à m et r constants) et enfin r (à ω et m constants). Ce montage reste un grand classique des épreuves orales du CAPES de sciences physiques.

On peut s'interroger sur l'intérêt de ce type d'activités. En fait, la séance de TP est centrée sur la question suivante, qui n'est jamais explicitement formulée : «telle loi est-elle vraie ?». Si la loi était fautive, il est évident qu'elle ne serait pas étudiée en cours, alors pourquoi ce type d'activités expérimentales ? Encore une fois, il est intéressant que l'élève puisse appuyer la construction de son savoir sur des situations concrètes. Les mesures faites vont permettre de mieux ancrer le modèle : dans l'exemple précédent, il est difficile d'évaluer qualitativement des vitesses de rotation. Les savoir-faire expérimentaux liés aux techniques de mesurage ne doivent pas être négligés. Ainsi dans l'exemple de la platine, il faut être vigilant sur la manière de mesurer l'allongement du ressort, sur la mise au

point de certains réglages afin que le ressort ne vienne buter sur des supports qui vont modifier l'allongement. L'évaluation de la précision des mesures est aussi importante et formatrice.

Il est possible de rendre ce genre d'activités plus riche en décidant par exemple de faire étudier les limites de validité d'un modèle théorique. La question centrale du TP est ainsi déplacée et devient : «telle loi est-elle toujours vraie ?» Les exemples sont multiples dans tous les domaines de la physique, comme de la chimie. Nous n'allons pas en donner. La recherche des limites de validité d'un modèle fait appel à la créativité et l'imagination de l'élève.

- **Les activités expérimentales exploitant un modèle**

On se propose cette fois de déterminer la valeur d'un paramètre x en utilisant un modèle qui dépend de ce paramètre. Nous allons citer quelques exemples : détermination de la valeur de la capacité d'un condensateur ou de l'inductance L d'une bobine, détermination de la concentration d'une solution d'acide ou de base, etc.

Ce type d'activités expérimentales constitue une véritable situation-problème. Si aucune méthode n'est imposée, les solutions peuvent être variées. Voilà une situation qui ne met pas le professeur dans une position très confortable. Lorsque la solution n'est pas donnée, elle est rarement unique et donc elle peut être choisie parmi plusieurs, le critère de choix étant lié aux contraintes matérielles. On peut même envisager de mettre en compétition plusieurs méthodes pour les classer suivant la précision du résultat, la facilité de mise en œuvre. Ce type de TP n'est possible qu'en fin de cycle d'études, les élèves devant posséder une culture scientifique suffisante pour être en mesure de mobiliser un ou plusieurs modèles qui permettent de répondre à la question initialement posée. Ce type de démarche devrait être plus fréquemment employé par les professeurs de sciences physiques.

- **Les activités expérimentales permettant de construire et structurer un modèle**

C'est sans doute la démarche la plus riche et la plus proche de la nature propre des sciences physiques. C'est celle qui développe le plus l'intuition, l'imagination, la créativité des élèves. C'est aussi celle qui s'appuie le plus sur leur étonnement. Mais c'est la démarche qui risque de prendre le plus de temps.

Il est possible d'imaginer plusieurs niveaux dans cette démarche, mais ils ont en commun quelques étapes fondamentales. À mon avis, le déroulement des activités expérimentales des élèves devrait faire apparaître les quatre phases suivantes :

- la formulation de la situation-problème,
- la mise au point du protocole expérimental,
- la réalisation du protocole expérimental,
- l'exploitation des résultats.

a. Formulation de la situation-problème

L'activité expérimentale part d'une interrogation, d'un questionnement dont les élèves ne connaissent pas la réponse : le titre du TP peut être une phrase interrogative. La formulation de la question peut être faite directement par le professeur, provenir d'une question apparue lors d'un cours ; elle peut également être introduite par une courte discussion entre le professeur et sa classe. La formulation doit être très précise et bien prise en compte par tous les groupes d'élèves. Prenons un exemple.

– Que se passe-t-il dans un circuit R-L-C série soumis à une tension sinusoïdale ? (question volontairement ouverte)

– Les élèves vont émettre des hypothèses (une situation d'observation de classe m'a montré qu'ils s'attendaient à ce qu'un signal alternatif amorti circule dans le circuit : ils venaient d'étudier les oscillations amorties la semaine précédente). La mise en œuvre d'une première expérience qualitative rapide permet de constater que la réponse est sinusoïdale, non amortie, de même fréquence que la tension excitatrice (la conception du montage et sa réalisation peuvent être faites par les élèves).

La formulation du problème initial devient plus précise.

– La fréquence des oscillations du circuit est-elle la même que celle des oscillations amorties ?

– La valeur de la fréquence de la tension délivrée par le générateur a-t-elle une influence sur les valeurs des grandeurs électriques que l'on peut mesurer ?

Comment mettre en évidence qualitativement puis quantitativement ces variations ? Quels paramètres faire varier ?

Sachant que la réponse d'un circuit donné est la première préoccupation, on peut faire varier soit la tension efficace de la tension excitatrice et maintenir la pulsation constante, soit maintenir constante la

tension efficace et faire varier la pulsation. On connaît bien les modèles qui sont ainsi mis en évidence dans l'un et l'autre cas.

La formulation deviendra alors extrêmement précise.

– Comment varie l'intensité efficace dans un circuit R-L-C série lorsque la tension efficace excitatrice seule varie ?

– Comment varie l'intensité efficace dans un circuit R-L-C série lorsque la pulsation de la tension excitatrice seule varie ?

Cet exemple montre que les diverses étapes de la formulation d'un problème à résoudre par une activité expérimentale doivent être adaptées à chaque cas. Bien sûr, si la première formulation est ouverte, elle doit être l'occasion d'un débat, collectif ou au sein de chacun des groupes de TP. On devrait ainsi arriver à une question simple, mais dont la réponse donne souvent lieu à plusieurs protocoles expérimentaux.

b. Mise au point du protocole expérimental

Les activités proposées par le professeur ou les élèves sont conçues dans le but de répondre au problème posé. Si la réponse nécessite la formulation de plusieurs hypothèses, le protocole expérimental doit bien cibler chaque hypothèse.

Dans l'exemple précédent, le montage, le déroulement du protocole sont fonction de l'angle d'étude choisi. L'organisation et la présentation des résultats doivent également être prévues.

Une question essentielle se pose ici. Quelle part laisser à l'élève dans la conception même du protocole expérimental ? On a déjà souligné l'importance de cette phase. Des visites de classes m'ont montré que ce qui paraît totalement utopique pour un professeur est simplement osé pour un autre. La conception d'un protocole expérimental est une phase de réflexion qui mobilise l'ensemble des connaissances acquises à un instant donné. Le choix des mesures à faire, des appareils de mesure, des domaines de variation n'est jamais le fait du hasard. Dans l'exemple précédent, la mesure de l'intensité efficace peut être faite avec un ampèremètre ou indirectement avec l'oscillographe, celle de la fréquence peut être faite à l'oscillographe, lue sur certains générateurs BF, mesurée avec un fréquencemètre. Pourquoi ne pas laisser réfléchir l'élève sur ces choix ? Entre quelles valeurs faut-il faire varier un paramètre pour mettre en évidence les phénomènes intéressants ? En chimie, lors d'un dosage avec indicateur coloré, une première manipulation rapide permet de limiter le domaine à étudier. Une deuxième manipulation précise permet de mieux encadrer le domaine d'équivalence. Cette méthode est plus rare en physique. Dans l'exemple ci-dessus, on pourrait imaginer une mise en

évidence rapide de l'existence d'un maximum pour la fonction $I_e(\omega)$, suivie d'une étude plus précise de ce maximum dans un deuxième temps. Ce n'est pourtant pas une pratique courante.

L'argument «perte de temps» est le plus invoqué lorsque l'on débat de la question précédente. L'enseignement optionnel en classe de seconde (IESP) et surtout en première S (Scientifique) constitue un espace de liberté aujourd'hui encore plus ou moins bien utilisé. Les objectifs d'un enseignement optionnel devraient, me semble-t-il, privilégier l'approche méthodologique et donner une certaine souplesse dans la gestion du temps.

c. Exploitation des résultats

L'exploitation des résultats peut prendre des formes tout à fait différentes. Citons-en quelques-unes :

- la structuration permettant de mettre en évidence le modèle (quantitativement ou qualitativement) est faite par le professeur, en interaction avec les groupes, à partir de la confrontation des résultats de chaque groupe en synthèse de la séance de travaux pratiques ;

- la modélisation est tentée par les élèves eux-mêmes, le professeur conduit alors une courte structuration finale ;

- le professeur utilise les résultats fournis par les activités expérimentales pour proposer sous forme d'exercice le modèle qu'il veut faire construire ;

- le professeur utilise en cours les résultats fournis par l'expérimentation pour mettre en évidence le modèle et sa justification théorique.

Il n'y a pas de hiérarchie dans la présentation qui précède : le choix dépend de la durée du TP, de la difficulté à modéliser, de l'avancement du cours...

L'apparition de l'ordinateur apporte dans ce domaine des possibilités encore mal exploitées, mais comporte également certains dangers. La rapidité de calcul de ces machines leur permet de faire émerger un modèle mathématique de manière quasi instantanée, dès l'entrée des données, comme il permet de mettre en mémoire les modèles théoriques. Si l'élève n'a pas suffisamment de recul par rapport à ces processus élémentaires, des confusions peuvent naître dans son esprit.

d. Conditions de réussite

La réussite d'une telle démarche exige l'adhésion du professeur. Elle ne peut être mise en place que progressivement si les élèves n'ont pas eu

l'habitude de travailler ainsi. Mon expérience personnelle me porte à penser qu'elle nécessite un document écrit distribué aux élèves. Ce document doit être élaboré avec le plus grand soin. Il doit favoriser le questionnement de l'élève, de manière à lui permettre de construire une réponse convenable. La forme du document doit évoluer en fonction de l'avancement de l'année et de la scolarisation de l'enfant. Si un document à trous peut être envisagé au collège et en classe de seconde, il est évident qu'en classes de première S et de terminale S, le document doit permettre à l'élève d'élaborer un compte-rendu des activités expérimentales en lui demandant de répondre aux questions qu'il comporte.

Les avantages d'un document écrit, bien fait, sont énormes ; il permet à chaque groupe :

- d'être en situation d'autonomie,
- d'aller à sa propre vitesse.

Le document peut être à géométrie variable : un noyau dur d'activités à faire réaliser par tous les élèves, des prolongements réservés à ceux qui vont plus vite et qui veulent aller plus loin.

3. QUELLE RELATION ENTRE ACTIVITÉS EXPÉRIMENTALES, COURS ET EXERCICES ?

Cette question a été abordée précédemment. Suivant le choix qui a été fait de commencer par l'expérimentation ou par l'exposé de la théorie, la relation entre le cours et les TP est différente. En tout cas l'ensemble doit constituer une unité cohérente dans la progression du professeur. Cette unité doit se retrouver dans les traces écrites conservées par les élèves. Lorsque l'on observe un cahier ou un classeur d'élève, il n'est pas rare de trouver le cours dans une première partie, les exercices dans une deuxième, les comptes-rendus de TP dans une troisième et les contrôles de connaissances ailleurs. Et pourtant chaque paragraphe constitue une entité qui comprend les résultats théoriques, les résultats expérimentaux, les exercices d'application. Pour assurer une bonne harmonie à cet ensemble, il semble évident que quelques exercices doivent être en relation avec l'activité expérimentale. En effet, pour consolider un modèle que l'on vient d'établir, les premières utilisations de ce modèle doivent être voisines des conditions expérimentales de son élaboration ou de sa validation. Il deviendra ensuite plus facile de faire utiliser le modèle dans des conditions différentes, demandant un effort de réinvestissement.

4. CONCLUSION

Par le passé, l'enseignement de sciences physiques s'est souvent résumé à l'apport de réponses toutes prêtes à des questions que les élèves ne se posaient pas. Les activités expérimentales avaient un rôle secondaire limité à la vérification des modèles exposés ou démontrés en cours. Les élèves n'étaient pas en mesure de faire le lien entre l'objet de l'étude et l'immensité de ses applications dans le monde naturel ou technologique. L'excès de formalisme a mis les sciences physiques en compétition avec les mathématiques et lui a fait perdre en grande partie son identité propre.

Les sciences physiques ont pour vocation profonde la modélisation du comportement du monde naturel et du monde des objets. La place du modèle est essentielle et centrale : son formalisme mathématique doit être connu et les élèves doivent être en mesure de l'utiliser directement et indirectement. Comment faire pour que cette construction soit solide à long terme ? Les allers-retours entre activités expérimentales, déductions théoriques, réinvestissement à l'aide de situations différentes décrites dans des exercices doivent conduire à de telles constructions.

Dans de nombreuses disciplines, la construction du savoir se fait en donnant aux élèves les moyens d'agir sur les objets que manipule cette discipline et en structurant les concepts qui s'y rattachent. Pourquoi les sciences physiques refuseraient-elles cette démarche ? Les activités expérimentales nous offrent des possibilités extraordinaires d'entrer dans cette dynamique, à condition de ne pas tomber dans un activisme artificiel. Si l'enseignant est conscient que toute manipulation, tout protocole, toute expérience sont destinés à consolider un modèle, une loi et à éclairer le lien profond entre l'activité expérimentale et la théorie, il retrouvera le plaisir de donner le goût des sciences physiques aux futures générations et de les former.

COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

Approche des phénomènes de conduction-convection dans le cadre des Olympiades de Physique

Dominique SACÉPÉ

Lycée J. Haag
1 rue Labbé
25000 Besançon, France.

Résumé

La participation aux Olympiades de Physique a permis à un groupe d'élèves de terminales STL (Sciences et Techniques de Laboratoire) option Optique de découvrir un domaine de la physique qui leur était peu familier : il s'agit de la thermique. Pour aborder ce domaine ils ont dû se fabriquer des images mentales, pour progresser ils ont choisi d'utiliser la démarche expérimentale la plus rigoureuse possible. C'est cette petite aventure qui est racontée dans les pages qui suivent.

Mots clés : projet, observation, initiative, culture scientifique, esprit d'équipe.

Abstract

The Physics Olympiads recently gave a group of pupils at the end of upper secondary school (17-18 year old), specialising in technological subjects the opportunity to discover «Thermics», a branch of physics so far unknown to them. To deal with this new domain, the students had to form mental images to adjust to this unfamiliar field whilst using an experimental approach that was as rigorous as possible. We present this adventure in the following pages.

Key words : *project, observation, initiative, scientific knowledge, team spirit.*

Resumen

La participación en las Olimpiadas de Física permitió a un grupo de alumnos de terminal (último año de la educación secundaria en Francia) opción óptica, de descubrir un dominio de la física que les era poco familiar : se trata de la térmica. Para abordar este dominio ellos tuvieron que fabricarse ideas mentales ; para progresar ellos seleccionaron la utilización de métodos experimentales rigurosos. Es esta pequeña aventura la que es narrada en las páginas que siguen.

Palabras claves : *proyecto, observación, iniciativa, cultura científica, espíritu de equipo.*

1. LE CONCOURS DES OLYMPIADES DE PHYSIQUE

La Société Française de Physique et l'Union des Physiciens organisent, depuis l'année 1991-1992, un concours s'adressant aux lycéens des classes de première et terminale. Ce concours inter-régional, baptisé «Olympiades de Physique», récompense au niveau régional, puis national, des projets expérimentaux de physique réalisés par des équipes de quatre à six élèves. Elles sont encadrées par un enseignant et associées à différents partenaires, chercheurs, ingénieurs, extérieurs aux établissements scolaires (voir Le Quéau, 1993).

1.1. Ses objectifs

Les Olympiades de Physique ont l'ambition d'atteindre plusieurs objectifs :

- valoriser la physique et, plus généralement, la culture scientifique et technique,
- développer, chez les jeunes, l'esprit de la recherche et le goût d'activités impliquant travail de groupe, négociation avec les partenaires, réflexion et expérimentation,
- participer à la formation continue des enseignants, en leur offrant la possibilité de valoriser leurs compétences pédagogiques au sein de projets permettant de développer leur autonomie et leur ouverture vers le monde scientifique et technique,

– contribuer à dynamiser les lycées par des actions susceptibles de rentrer dans les projets d'établissement, sous la coordination de leurs responsables,

– impliquer davantage les acteurs économiques et les collectivités territoriales dans des activités de formation dont ils sont à long terme bénéficiaires.

1.2. Sa préparation

Dès le début de leur année de première, les groupes de candidats se mettent en place : ils ont à choisir des partenaires et à se déterminer, conseils et bibliographie à l'appui, pour un «sujet de recherche», fondamental ou appliqué. Ce travail d'équipe se déroule en partie dans les locaux scolaires, en partie dans le laboratoire ou l'entreprise acceptant d'intervenir dans le projet. Outre une réalisation matérielle (dispositif de laboratoire, banc de mesure...), il implique exploration, prise de contacts, sensibilisation du monde extérieur au projet choisi, activités qui font partie intégrante du vrai travail scientifique, quel que soit son lieu de réalisation.

1.3. Ses soutiens et ses partenaires

Au plan national, les Olympiades de Physique ont pour partenaires EDF (Électricité de France) et le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique). Elles bénéficient également du soutien financier du Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Elles sont placées sous le haut patronage de Monsieur le Ministre de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

1.4. Sa présentation

Arrivé à son terme, le résultat de ce travail est présenté devant un jury, au cours du premier trimestre de terminale, sous la forme d'un exposé documenté. Maîtrise du sujet, rigueur de la démarche adoptée, élégance, simplicité et intérêt du dispositif ou de l'expérience réalisée, imagination et sens de l'initiative, tels seront les critères retenus pour distinguer les meilleures équipes, au niveau régional comme au niveau national. Des qualités que ne valorisent pas toujours les évaluations scolaires classiques mais dont la reconnaissance peut aider à l'éveil de vocations.

2. HISTOIRE D'UN PROJET PRÉSENTÉ PAR UN GROUPE D'ÉLÈVES DE TERMINALE STL

Dès que le concours des Olympiades de Physique a été mis en place (1993), j'ai tenu à y faire participer mes élèves. J'ai très vite eu le sentiment qu'il fallait profiter de cet espace de liberté qui nous était offert pour mettre en pratique quelques idées concernant la didactique des sciences physiques et la didactique en général. Les événements qui ont suivi m'ont donné confiance : en effet, les sujets proposés ont été primés chaque année.

1^{er} Prix en 1993 : **Le rayonnement infrarouge et quelques-unes de ses propriétés**

2^e Prix en 1994 : **Histoires de bulles** (Étude des phénomènes superficiels)

2^e Prix en 1995 : **À propos de conduction-convection**

Ce dernier thème nous a valu d'être invités à participer à l'émission télévisée du congrès des thermiciens à Poitiers en mai 1995, c'est pourquoi j'ai choisi d'en développer ici le contenu soit :

«À propos de conduction et de convection».

Le point de départ a été une prise de conscience collective de la confusion qui régnait dans la détermination courante des notions de chaleur et de température : les définitions de chacune de ces **grandeurs** physiques données par le Larousse en trois volumes dans la rubrique «familier» en sont une preuve irréfutable. D'autre part, plusieurs élèves avaient relevé au moment des informations météorologiques des expressions du type : «les températures sont fraîches» ou bien «les températures sont chaudes»..., et sans savoir exactement pourquoi ils avaient eu l'intuition que ce langage était inadapté, même dans une émission tout public. C'est ainsi que nous avons décidé de partir à la recherche d'une meilleure appréhension des notions de chaleur et de température, ce qui nous a conduits à ouvrir une petite fenêtre sur la thermique. Dans ce qui suit, on trouvera un condensé de notre document écrit.

2.1. Introduction

Pourquoi sert-on toujours les boissons chaudes dans de la faïence ou de la porcelaine ? Nous avons essayé de verser du café dans une timbale métallique et dans un gobelet de porcelaine et voilà ce que cela a donné :

Figure 1a



*Gobelet en porcelaine :
Tout va bien .*



*Timbale en argent :
On se brûle la main .*

La température de la timbale est tout de suite plus élevée que celle du gobelet en porcelaine.

Figure 1b : 10 mn plus tard



*Gobelet en porcelaine :
encore chaud !*



*Timbale en argent
juste tiède.*

Figure 1 : Réflexions d'un goûteur de café

Un des participants a représenté sous forme de bande dessinée (figure 1a) un jeune garçon qui prend dans ses mains :

- une tasse métallique contenant du café chaud : il se brûle les mains ;
- une tasse en porcelaine contenant du café chaud : c'est très supportable.

Après quelques minutes (figure 1b), le jeune garçon décide de boire le café qui se trouve dans chaque tasse :

- le café qui se trouve dans la tasse métallique est tiède,
- le café qui se trouve dans la tasse en porcelaine est encore chaud.

Dans les deux cas on interprète le phénomène observé en disant que le système (masse d'eau M) a échangé de la chaleur avec le milieu ambiant et que cette évolution a lieu à la fois dans l'espace et dans le temps. Dans ce qui suit sont décrites les expériences réalisées de manière à séparer les facteurs espace et temps.

2.2. Étude du phénomène d'échange de chaleur en fonction du temps

Expérience. Une masse d'eau M est chauffée à l'aide d'un thermoplongeur puis, le thermoplongeur étant retiré, la masse d'eau se refroidit de façon naturelle dans le milieu ambiant. Au cours de l'échauffement et du refroidissement, on enregistre les valeurs prises par la température θ ($^{\circ}\text{C}$) de l'eau au cours du temps t , et cela à l'aide d'un thermocouple (figure 2).

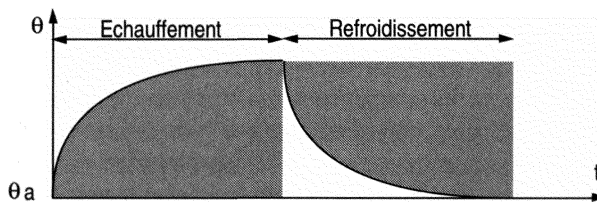


Figure 2 : **Courbes représentatives des variations de la température de la masse d'eau en fonction du temps au cours d'un échauffement suivi d'un refroidissement**

Observation. Les courbes obtenues $q = f(t)$ présentent une singulière analogie avec les courbes $U = g(t)$ obtenues lors de la charge et la décharge d'un condensateur ($U =$ tension aux bornes du condensateur).

Réflexions. Dans ce qui suit nous choisissons de nous intéresser au seul refroidissement. Le traitement des valeurs obtenues [$\ln(\theta - \theta_a) = h(t)$], avec $\theta_a =$ température ambiante, montre que le phénomène observé n'est pas rigoureusement analogue au cas du condensateur. Il apparaît évident que la masse d'eau ainsi que l'air ambiant n'ont pas une température uniforme (il suffit de déplacer la sonde de température dans l'espace pour s'en assurer), alors que le potentiel d'une plaque de condensateur est uniforme. On procède alors à quelques **modifications du dispositif expérimental** dans le but :

a) d'accélérer le processus,

b) de rendre uniforme la température de la masse d'eau ainsi que celle du milieu extérieur.

Pour cela, on place le récipient contenant l'eau étudiée dans un circuit d'eau courante (milieu extérieur à température uniforme et constante, figure 3c) et on agite l'eau étudiée (agitateur magnétique, figure 3d). L'expérience est renouvelée avec ce dernier dispositif ; alors le traitement des valeurs obtenues permet d'affirmer que l'évolution de la température θ peut se modéliser avec une loi de la même forme que celle de $U = g(t)$.

Interprétation du refroidissement : initialement la température de la masse M est plus élevée que celle du milieu extérieur, on dira que cela entraîne un échange de chaleur entre M et le milieu extérieur. Ici M cède de la chaleur et de ce fait voit sa température s'abaisser.

Interprétation de la décharge du condensateur : initialement le potentiel d'une des plaques du condensateur est à un potentiel plus élevé que l'autre plaque, on dira que cela entraîne le passage d'un courant dans le circuit résistant qui relie les plaques et de ce fait, la différence de potentiel aux bornes du condensateur diminue.

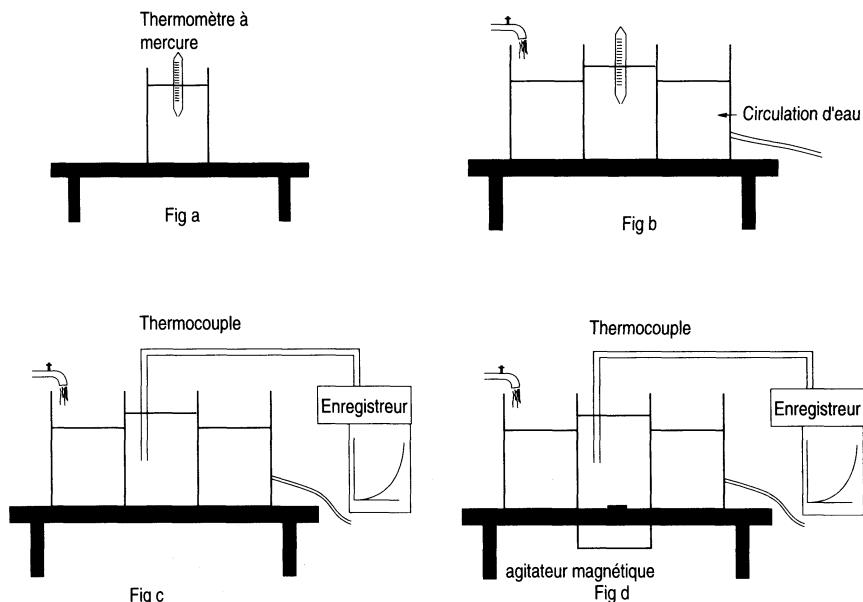


Figure 3 : (a) Montage initial simple. (b) La température du milieu extérieur est rendue homogène, le processus est accéléré à l'aide d'un courant d'eau froide. (c) On améliore le temps de réponse du capteur en utilisant un thermocouple. (d) La température de l'eau étudiée est rendue homogène grâce à l'agitateur magnétique

Conclusions

a) Le phénomène naturel observé (en apparence simple) est impossible à modéliser à notre niveau ; en revanche si l'on veut établir un modèle mathématique simple et rigoureux, il faut avoir recours à un dispositif sophistiqué.

b) La comparaison précédente appelle la remarque suivante : dans les deux cas, on observe que des grandeurs physiques jouent des rôles analogues. En effet la température joue le même rôle que le potentiel, alors que la chaleur joue le même rôle que le courant. Dans ce qui précède, température et potentiel jouent le rôle de «**grandeurs cause**», alors que chaleur et courant jouent le rôle de «**grandeurs conséquence**».

Remarque : dans notre approche nous nous sommes limités à l'étude des phénomènes de conduction-convection, excluant les changements d'état où les transferts de chaleur peuvent avoir lieu à température constante. Ce dernier point montre qu'il y a une limite à l'analogie thermique-électricité.

c) **Question** : pour quelles raisons y a-t-il une limite à cette analogie ?

Élément de réponse : le courant électrique correspond à un transfert de matière (les électrons), le transfert de chaleur n'est pas un transfert de matière ; il s'agit plutôt d'une transmission des états de vibration des atomes du matériau siège du transfert de chaleur qui se fait de proche en proche.

2.3. Étude du phénomène en fonction de l'espace

Extension de l'analogie précédente

Si l'analogie ci-dessus est valable, on peut écrire que la température θ du système peut se mettre sous la forme :

$$\theta_i = (\theta_M - \theta_e) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Avec θ_i = température (intérieure) du système à un instant t

θ_M = température (maximum) du système à l'instant $t = 0$

θ_e = température uniforme et constante du milieu extérieur.

En électricité, t se met sous la forme du produit $\tau = RC$ où R est la résistance du circuit électrique considéré et C la capacité du condensateur.

Nous nous proposons de poursuivre l'analogie en recherchant quel élément de l'ensemble peut bien jouer le rôle de capacité C et quel autre élément peut bien jouer le rôle de résistance R . En électricité, le condensateur constitue une réserve d'énergie ; on caractérise cette aptitude à stocker

l'énergie en caractérisant le condensateur par un coefficient appelé capacité C . Ce coefficient est d'autant plus grand que l'aptitude à stocker l'énergie est grande. Dans notre circuit thermique, c'est la masse d'eau qui constitue la réserve d'énergie, c'est donc à elle que nous affecterons un coefficient C appelé capacité thermique. Le rôle de résistance semble revenir tout naturellement à la paroi du récipient (voir les expériences précédentes), nous le nommerons \mathfrak{R} résistance thermique. La question qui se pose maintenant est de savoir ce que recouvre ce terme de résistance thermique. Nous avons fait des mesures d'une part en changeant le matériau constituant le récipient (laiton aluminium, matière plastique de même épaisseur et même surface d'échange), d'autre part en changeant la nature du milieu extérieur (eau, air) : nous avons alors constaté que \mathfrak{R} dépendait de la nature de la paroi ainsi que de la nature du milieu extérieur. Pour calculer \mathfrak{R} , il faut donc tenir compte des phénomènes indissociables expérimentalement que sont la conduction et la convection. En effet on appelle conduction le phénomène de transfert de chaleur à travers un solide et convection le phénomène de transfert de chaleur par l'intermédiaire d'un fluide. Une série d'enregistrements nous a permis d'aborder le problème sous l'aspect quantitatif, et en particulier de retrouver les valeurs des coefficients de conduction thermique λ de différents matériaux. Par la suite, afin de mieux nous rendre compte de ce qui se passe lors d'un transfert de chaleur, nous avons cherché à visualiser les phénomènes.

Visualisation des phénomènes de transfert de chaleur

Nous avons voulu traiter séparément les deux phénomènes de conduction et de convection ; sachant qu'ils sont pratiquement indissociables, nous avons successivement réalisé des montages qui privilégiaient un mode de transfert sans toutefois complètement éliminer l'autre.

a) VISUALISATION DU PHÉNOMÈNE DE CONDUCTION

Cette expérience a été grandement facilitée par l'utilisation de peinture thermosensible à cristaux liquides que l'entreprise Merck Clevenot nous a donnée ; cette peinture change de couleur avec la température. Nous avons voulu mettre en évidence la différence de conductivité thermique de divers matériaux : pour cela nous avons prélevé des échantillons de matériaux divers (verre, cuivre, laiton, aluminium) de même dimension (forme allongée 200 mm x 40 mm x 5 mm environ), nous les avons enduits de peinture thermosensible et nous avons chauffé simultanément les quatre échantillons par une de leurs extrémités. Très vite on remarque que l'espace coloré n'a pas la même dimension d'un échantillon à l'autre. De plus l'étalement se fait suivant une direction et un sens bien déterminés. Cela nous a permis d'introduire la notion de gradient de température (sans aucune formule bien sûr) ; d'où la remarque suivante : quand le gradient de température est faible

le matériau est conducteur, et quand le gradient de température est élevé le matériau est isolant. Nous avons pu alors faire le classement suivant dans l'ordre de conduction décroissante : cuivre, aluminium, laiton, verre.

b) VISUALISATION DU PHÉNOMÈNE DE CONVECTION

Cette visualisation a nécessité de nombreux essais.

• **Convection dans le cas général** (figure 4). Un becher contenant de l'huile est placé sur une plaque électrique ; nous nous proposons alors d'observer les mouvements de convection dans l'huile d'une part et dans l'air ambiant d'autre part. Pour ce faire, nous utilisons le fait que l'indice de réfraction d'un fluide est fonction de sa température. Après de nombreux essais, nous avons retenu la solution optique la plus satisfaisante : le système d'éclairage est constitué par un spot halogène au filament quasi ponctuel ; on s'arrange pour éliminer la lumière provenant directement de la source de telle sorte que l'ensemble à visualiser ne soit éclairé que par le faisceau lumineux renvoyé par le réflecteur. Finalement on recueille sur un écran une ombre projetée du phénomène, agrandie et bien contrastée. Par rapport à un système de projection classique (objectif photo utilisé à l'envers), l'ombre projetée présente l'avantage de disposer d'un grand champ, de donner une image droite, de ne pas donner lieu à des aberrations. Dans cet exemple de convection quelconque, on observe dans l'huile ainsi que dans l'air des mouvements désordonnés de matière, on dit que l'on est en présence d'un **phénomène chaotique**.

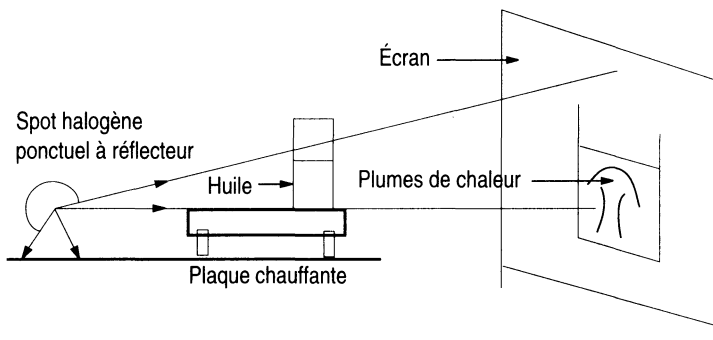


Figure 4 : Montage simple permettant la visualisation des mouvements de convection dans de l'huile chauffée

• **Cas particulier du passage d'un état désordonné à un état organisé.** Nous avons cherché à reproduire l'expérience dite de Bénard-Marangoni : lorsque l'on chauffe à l'air libre une couche de liquide visqueux, on

remarque que pour certaines valeurs de l'épaisseur du liquide, de sa viscosité, du gradient de température, les mouvements de convection donnent lieu à une organisation générale ; en effet on observe dans le liquide l'apparition de cellules hexagonales relativement stables. L'observation individuelle est très aisée, n'importe qui peut voir des cellules de Bénard-Marangoni dans l'huile d'une crêpière (huile du commerce en film de faible épaisseur et fortement chauffée). En revanche, nous avons éprouvé certaines difficultés à réaliser une projection agrandie du phénomène, visible par un groupe (le jury). La figure 6 représente le montage qui a donné le plus de satisfaction.

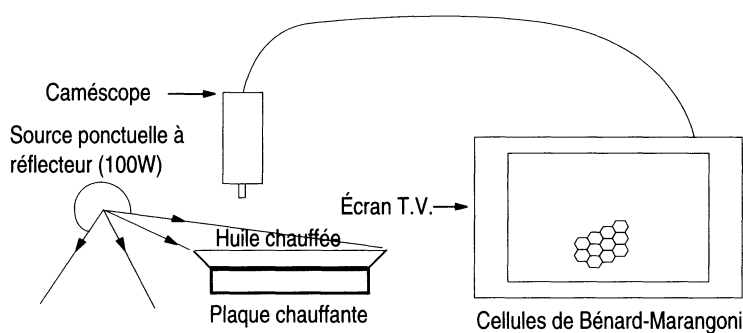


Figure 5 : **Éléments du montage permettant la visualisation des cellules de Bénard-Marangoni**

2.4. Conclusion

D'une part, une analogie avec l'électricité nous a permis de mieux nous représenter ce que sont la chaleur et la température ; de plus il a été possible d'établir une loi de prévision classique pour traduire l'évolution de la température en fonction du temps et de l'espace. Nous avons remarqué aussi qu'il était difficile de modéliser avec rigueur un phénomène naturel (trop de facteurs entrent en jeu), tandis qu'il fallait faire appel à un montage un peu plus complexe pour que la loi de prévision traduise exactement ce qui se passe (nombre de facteurs réduit au minimum).

D'autre part, cette incursion dans la thermique nous a permis d'entrevoir un domaine nouveau (pour nous) de la physique, à savoir la physique du chaos. Bien que notre étude se soit limitée à l'aspect qualitatif du phénomène, ce que nous avons observé nous a littéralement fascinés.

3. RÉFLEXIONS PERSONNELLES

On peut regretter de ne pas voir figurer une évaluation permettant de rendre compte de l'intérêt de ce type d'activité. À ce sujet, j'ai rencontré deux types d'obstacles :

– le concours avait lieu fin mars et la proximité du baccalauréat interdit de prolonger le temps consacré à ce travail ;

– si des jeunes en difficulté se sont montrés motivés et persévérants, c'est par le simple fait que pendant la préparation, ils ne se sont sentis à aucun moment jugés ou évalués.

Cependant, l'étude décrite précédemment a présenté de nombreux points positifs dont la valeur est difficilement quantifiable et ceci dans des domaines très divers. J'ai essayé, dans ce qui suit, d'en établir la liste.

3.1. Au plan de la formation scientifique

Ce travail a permis de

a) développer l'imagination et la créativité :

- recherche d'exemples simples de la vie courante illustrant notre propos ;
- recherche systématique d'une visualisation claire des phénomènes étudiés ;

b) travailler de façon transversale :

nous avons abordé des domaines très variés de la physique tels que la thermique, l'électricité, l'optique... ;

c) développer le savoir-faire expérimental :

mise en œuvre des idées de visualisation qui a exigé un travail en profondeur en optique, notamment à propos de la qualité des images ;

d) traiter deux types de phénomènes thermiques :

- **monofactoriel** (on a pu y faire une analogie avec l'électricité) où les méthodes de raisonnement et de calcul sont traditionnelles ;
- **multifactoriel** ; c'est le domaine du chaos où les lois de prévision sont inaccessibles à des lycéens, mais c'est aussi un domaine encore inexploré à l'école et cela a éveillé une grande curiosité chez nos participants ;

e) faire une approche des influences auxquelles est soumise la pensée scientifique. Comme nous l'avons indiqué précédemment, nous avons

utilisé une méthode classique d'analogie électrique pour traiter des phénomènes thermiques. Or, si l'on se réfère à la chronologie des faits scientifiques, on remarque que Fourier a publié la première loi de la thermique avant que Ohm ne publie sa loi concernant la tension aux bornes d'un résistor et que Faraday ne publie des lois relatives aux condensateurs. Si on se penche sur l'évolution des diverses branches de la physique, on ne peut s'empêcher de remarquer que depuis le XIX^e siècle, c'est l'électricité qui a subi le plus fort développement, surtout du point de vue des applications. Cela a conféré à cette branche un grand poids économique dont l'influence est ressentie jusque dans les méthodes de raisonnement.

3.2. Au plan humain

a) Chacun a pu choisir les différentes parties à traiter ainsi que les différentes tâches à effectuer en fonction de ses goûts et de ses compétences ; de ce fait chacun a pu donner le meilleur de lui-même. J'ai alors remarqué que cette façon de travailler redonnait confiance à chacun et que cela avait pour conséquence de lui permettre de s'ouvrir très naturellement à un savoir nouveau.

b) Il a fallu apprendre à travailler en équipe en prenant conscience que tous les rôles sont importants, et qu'un groupe est d'autant plus productif que les membres qui le constituent s'entendent bien et que les efforts entrepris vont dans le même sens.

c) Il a fallu apprendre à conduire un projet sur une longue durée, en acceptant les échecs et même en en tirant parti.

d) Les réussites successives ont redonné confiance à toute une section : en effet, chaque année, le groupe qui se présentait au concours était formé exclusivement d'élèves issus de la section STL (Sciences et Techniques de Laboratoire), option Optique, du Lycée J. Haag de Besançon. Très souvent, les élèves de ces sections nourrissent un sentiment d'infériorité vis-à-vis de leurs camarades de la section S (scientifique) ; leur réussite les a rassurés, notamment à propos de leur valeur dans le domaine scientifique expérimental.

e) Nous avons aussi pris conscience de nos limites (professeur comme élèves), car sans l'aide efficace et désintéressée de chercheurs spécialisés en thermique, nous n'aurions pas pu aller aussi loin dans nos réflexions. En effet, Madame Monchoux du Laboratoire de Thermique de l'Université Paul Sabatier de Toulouse nous a donné de précieux conseils et nous a soutenus de ses encouragements, et c'est grâce à son action que nous avons participé au congrès des thermiciens à Poitiers en mai 1995.

f) La présentation orale a été un excellent exercice d'entraînement si j'en crois une réflexion d'un de mes élèves, candidat heureux au concours 1993 : « *Si en 1995 j'ai eu les félicitations du jury lors de la présentation de mon projet de BTS photonique, c'est aux Olympiades de Physique que je le dois.* » Depuis, cet étudiant s'est inscrit en licence de physique où il réussit brillamment.

Dans ce type de travail le choix du sujet importe peu, en revanche il est important de pouvoir mettre en application quelques-uns des points énumérés ci-dessus. En effet, on y trouve des aspects du travail de recherche en équipe qui ne peuvent pratiquement jamais être mis en application ou en valeur dans un cours traditionnel.

Je ne saurais terminer sans remercier particulièrement :

les organisateurs du concours dont l'efficacité est remarquable,
les entreprises Aérospatiale, EDF, Renault qui ont permis toute l'organisation matérielle,
les membres du jury qui ont accompli leur tâche avec une générosité et une rigueur impressionnantes,
les chercheurs qui n'ont pas hésité à nous consacrer de leur précieux temps,
les collègues du lycée qui nous ont apporté de l'aide et du soutien.

BIBLIOGRAPHIE

(Il s'agit de la liste d'ouvrages effectivement consultés par des élèves de terminale.)

- ATKINS P.W. (1990). *Chaleur et désordre*. Paris, Belin.
- BRIGGS J. & PEAT F. (1991). *Un miroir turbulent*. Paris, Interédition.
- CHEVTZ I., KONDAK M. & KIRAKOVSKI N., KADANOFF L.P., LIBCHABER A., MOSES F. & ZOCCHI G. (1969). *Thermique générale*. Moscou, Éditions Mir.
- FLESSELLES J.-M., CROQUETTE V. & JANIAUD B. (1995). La ronde des oscillateurs. *Pour la Science*, Dossier Hors-Série Janvier 1995, pp. 78-81.
- KADANOFF L. (1991). Turbulence dans une boîte. *La Recherche*, n°232, pp. 628-638.
- LE QUÉAU D. (1993). Les Olympiades de Physique. *Didaskalia*, n°2, pp. 111-119.
- SACADURA J.-F. (1993). *Initiation aux transferts thermiques*. Paris, Technologie et Documentation.

La préparation du concours des Olympiades de Physique 1995 : construire un instrument de musique en cristal

André MEGEL, Marie-Noëlle OLIVE

Lycée Félix Esclangon
04100 Manosque, France.

Résumé

Chaque année, depuis sa création, une équipe du Lycée Félix Esclangon de Manosque est finaliste du concours des Olympiades de Physique. Pour l'année scolaire 1994-1995, elle s'est intéressée aux «modes propres de vibration d'une structure». Le travail réalisé a consisté en une étude expérimentale du phénomène dans un laboratoire de vibrométrie laser du CEA de Cadarache, suivie d'une modélisation avec les logiciels CASTEM 2000 et RDM. Une application a été conçue sous la forme d'un instrument de musique en cristal réalisé en collaboration avec des élèves tchèques du Lycée Slave d'Olomouk, jumelé avec le Lycée Esclangon.

Mots clés : enseignement, physique, projet expérimental, partenariat, jumelage scientifique.

Abstract

Each year, since the Physics Olympiads were created, a team of «Lycée Esclangon» has competed in the finale. In 1994-1995, they became interested in the different vibratory modes of a structure. Their work consisted in conducting an experiment in a laser vibration laboratory at the CEA, Cadarache, followed by a

modélisation with the software programs CASTEM 2000 and RDM. An application has been conceived under the shape of a cristal instrument realized in collaboration with the Czech students of the Slavic School of Olomouk, which is twinned with the Lycée Esclangon.

Key words : *teaching, physics, experimental project, partnership, scientific exchange.*

Resumen

Cada año, desde su creación, un equipo del liceo Félix Esclangon de Manosque es finalista en el concurso de las Olimpiadas de Física. Para el año escolar 1994-1995, ella se interesa a «los modos propios de vibración de una estructura». El trabajo realizado consistió en un estudio experimental del fenómeno en un laboratorio de vibrometría laser del CEA de Cadarache, seguido por una modelización con los software CASTEM 2000 et RDM. Una aplicación ha sido concebida bajo la forma de un instrumento de música en cristal realizado en colaboración con los alumnos Checos del liceo Slave de Olomouk, el cual forma pareja con el liceo Esclangon.

Palabras claves : *enseñanza, física, proyecto experimental, compañerismo, intercambio científico.*

Afin de développer l'enseignement expérimental de la physique dans l'enseignement secondaire, la Société Française de Physique et l'Union des Physiciens organisent, avec le soutien de l'État et d'entreprises privées, le concours des Olympiades de Physique destiné à récompenser les équipes de lycéens qui réalisent et exploitent des dispositifs expérimentaux.

Depuis quatre ans qu'existe ce concours, le Lycée Félix Esclangon de Manosque y participe et il est présent aux épreuves finales à Paris avec une vingtaine d'autres lycées.

Nous pensons que la préparation à ce concours est un excellent moyen de faire de la physique et de montrer à nos élèves l'intérêt d'une approche expérimentale d'un phénomène. D'autre part, c'est l'occasion d'aborder chaque année un sujet de recherche nouveau et de le mener à terme. Pour participer au concours, il faut en effet terminer le travail en

respectant impérativement un délai, puis rédiger un compte rendu écrit, «le mémoire», et enfin présenter oralement l'ensemble devant un jury en temps limité.

Les lignes qui suivent présentent le travail réalisé pour le concours 1995 par l'équipe de notre lycée qui a obtenu un deuxième Prix national.

1. LA MISE EN PLACE

1.1. La constitution de l'équipe

Le concours est ouvert à une équipe de quatre à six élèves de première Scientifique. Trente candidats se sont présentés au mois de mai 1994. Les prix obtenus les années précédentes (troisième, puis deuxième Prix national) ont donné envie à beaucoup d'élèves de tenter l'aventure. Ils savent pourtant que cela représente un travail supplémentaire important, mais connaissant aussi les brillants résultats au baccalauréat des équipes des Olympiades les années précédentes, leurs craintes concernant l'examen ont disparu. Nous avons retenu huit élèves, nous avons donc été obligés d'en éliminer une vingtaine. Le critère principal a été la motivation manifestée par l'élève à faire de la physique pendant son année de seconde.

Notre lycée est par ailleurs jumelé avec le lycée slave d'Olomouk en République Tchèque. Ce jumelage, à caractère scientifique et linguistique, se limitait au niveau des échanges à une découverte des modes de vie des deux pays. Pour lui donner une «coloration plus scientifique», nous avons demandé à nos collègues tchèques de constituer une équipe d'élèves qui pourrait travailler sur le sujet des Olympiades. Un groupe de six élèves tchèques a donc été constitué et s'est joint à notre recherche.

1.2. Le choix du sujet

Nous avons pris des contacts avec le Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN) à Genève pour un sujet sur la «relativité». Le sujet semblait pouvoir être traité avec des élèves de lycée, et une équipe de chercheurs était prête à travailler avec nous. Finalement, cette collaboration a échoué, ce qui nous a conduits à chercher un laboratoire d'accueil plus proche de Manosque.

Le Centre d'Études Atomiques de Cadarache étant à un quart d'heure de notre lycée, nous avons cherché à y réaliser la même expérience qu'au CERN. C'est en prospectant dans différents secteurs du CEA que nous

avons eu l'occasion de visiter un laboratoire de «Vibrométrie Laser». L'accueil très chaleureux que nous avons reçu auprès de Madame Pierrette Fardeau, ingénieur, puis de Monsieur Lusson, technicien, nous a amenés à renoncer au premier sujet, puis à décider de travailler dans ce laboratoire sur les modes propres d'une structure.

D'autre part, la collaboration avec les Tchèques nous a incités à chercher une application dans un domaine d'activité proche de nos correspondants. Lors de la visite de la cristallerie de Karolinka, en Moravie, nous avons décidé de construire un instrument de musique en cristal. D'où le sujet définitif : «Étude des modes propres d'une structure par vibrométrie laser. Construction d'un instrument de musique en cristal».

1.3. Les partenaires

Nous avons pu réaliser ce travail grâce à deux partenaires locaux :

– le Centre d'Études Atomiques de Cadarache (CEA) qui nous a permis de réaliser des mesures de vibrométrie laser dans son Laboratoire d'Hydraulique du Cœur du réacteur (DRN/DEC/SECA/LHC). Il s'agit d'un «labo froid», sans risque pour des élèves mineurs ;

– Électricité de France (EDF) qui nous a aidés à réaliser le voyage en République Tchèque.

2. LES GRANDES ÉTAPES DE NOS ACTIVITÉS

2.1. Les cours théoriques

Une des difficultés à résoudre est l'adaptation du sujet choisi aux connaissances des élèves. Nous avons commencé quelques cours théoriques durant le mois de juin 1994 et pendant les grandes vacances afin que l'équipe soit prête à recevoir les explications lors de la première visite du laboratoire. Les sujets abordés (environ dix heures de cours) : pendule élastique, cordes vibrantes, résonance, notion de fréquence propre et de mode propre dans le cas simple de mouvement pendulaire, effet Doppler.

Certaines de ces notions ont bien sûr été étudiées plus en détail durant le premier trimestre dans le cadre du cours normal de physique. D'autres, comme les cordes vibrantes ou l'effet Doppler, ne figurent pas au programme ; il a été nécessaire ici d'apporter aux élèves des connaissances qui ne viendraient que plus tard pendant l'année scolaire ou même les années suivantes.

2.2. Le travail au laboratoire d'hydraulique du cœur du réacteur

2.2.1. Premier contact

Le 29 août 1994 (pendant les vacances scolaires), toute l'équipe a passé une journée entière au CEA de Cadarache, avec au cours de cette journée :

- présentation des structures du centre,
- prise de contact avec les différentes personnes travaillant dans le laboratoire,
- visite guidée du laboratoire (vibrométrie à effet Doppler, vélocimétrie laser)
- lien entre le travail effectué au laboratoire et le sujet choisi (vibration des aiguilles dans le cœur du réacteur et modes propres d'une structure),
- mise en place d'un calendrier de travail au laboratoire.

Cette journée très riche a permis de bien cerner le sujet et de voir comment il allait être abordé expérimentalement.

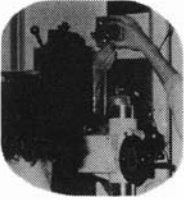
2.2.2. Organisation du travail expérimental

Sept séances ont ainsi été programmées pour venir travailler. Elles se sont déroulées au CEA pendant l'année scolaire le mercredi après-midi. Le CEA a mis à notre disposition un car qui venait chercher l'équipe vers 12h 30 et la ramenait vers 17h 30.

Deux ateliers de travail ont été mis en place :

- l'un, animé par Monsieur Lusson (technicien), a réalisé des mesures avec le vibromètre laser, afin d'établir expérimentalement les lois concernant les modes ;
- l'autre, sous l'autorité de Madame Fardeau (ingénieur), a conduit un travail de modélisation en utilisant les logiciels CASTEM 2000 et RDM.

LE DÉROULEMENT D'UNE MESURE



FIXATION DE LA POUTRE (1)



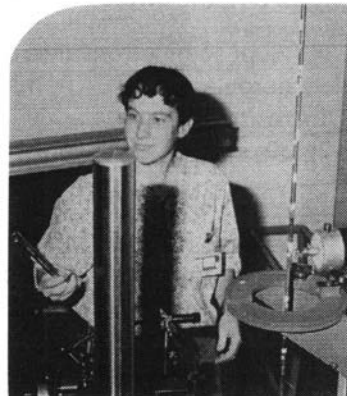
MISE EN PLACE DE LA MIRE (2)



RÉGLAGE DU FOCUS DU LASER (3)
(Le port de lunette spéciale a été obligatoire
en raison de la forte puissance du laser utilisé)



PRÉPARATION INFORMATIQUE
DE L'EXPÉRIENCE (4)



MISE EN VIBRATION DE LA POUTRE (5)

2.2.3. L'expérience avec le vibromètre laser à effet Doppler

Un faisceau laser est envoyé sur une mire fixée en un point de la structure dont on veut connaître les modes propres. On donne un coup bref sur cette structure qui se met alors à vibrer. Cette vibration entraîne un effet Doppler au moment de la réflexion du faisceau sur la mire. La mesure de la variation de longueur d'onde entre le rayon incident et le réfléchi permet de connaître la vitesse du point de la structure où se trouve la mire. La décomposition en séries de Fourier permet de mesurer les fréquences propres associées à chaque mode propre.

2.2.4. Les résultats

Le travail a été réalisé avec beaucoup de sérieux et d'efficacité :

- découverte expérimentale des lois concernant les modes propres des poutres,
- modélisation des poutres,
- étude expérimentale des modes propres d'un verre en cristal,
- essai de modélisation avec poutre, puis coque.

À l'issue de ce travail, les élèves étaient capables de mesurer les fréquences propres de vibration d'un objet (verre en cristal) et de modéliser cet objet.

D'autre part, c'est à travers ces activités expérimentales que l'équipe s'est structurée d'elle-même en apprenant à s'organiser pour réaliser un travail et obtenir des résultats. Mandelle et Michaël ont pris en charge la structure à étudier, Vincent et Sylvain les réglages électroniques du faisceau, Élodie et Élisabeth la saisie informatique, pendant que Laurent et Valérie s'occupaient de faire tourner les logiciels de simulation (voir les photos de la page ci-contre).

2.3. La mise au point par un élève d'une expérience de résonance

Le travail au CEA fut très intéressant et a conduit à une bonne connaissance du sujet. Il a donné l'idée à un des élèves du groupe de mettre au point un dispositif expérimental permettant de mesurer les fréquences propres d'une poutre.

Pour cela, il a couplé la membrane d'un haut-parleur excité par un générateur basse fréquence à une tige d'acier encastrée à l'une de ses extrémités. En balayant la fréquence de vibration du haut-parleur, il a mis

en évidence les différents modes de la tige chaque fois qu'il y a résonance ; il a pu ainsi mesurer (en dehors du CEA) les différentes fréquences propres et les relier aux formules établies à Cadarache.

L'expérience a été très enrichissante, car si les élèves font de la physique de façon théorique, il est plus difficile pour eux de prendre l'initiative d'une expérience.

2.4. L'échange avec la République Tchèque et l'application

Cette partie du travail est un peu en dehors des objectifs des Olympiades, mais il nous paraît intéressant d'en parler, car elle a contribué à souder l'équipe, formée d'élèves qui ne se connaissaient guère.

Comme nous l'avons dit plus haut (1.1.), un groupe de six élèves tchèques du lycée slave d'Olomouk, ainsi que leur professeur de physique, se sont joints à notre équipe. Les élèves se sont d'abord écrit et se sont transmis ainsi le sujet de notre recherche.

Le groupe de Manosque a organisé, pendant les vacances de Toussaint, un voyage de huit jours à Olomouk. Les matinées ont été consacrées à un travail scientifique (le groupe de Manosque a présenté son travail et en particulier les résultats du travail expérimental fait à Cadarache), les après-midi et certains jours au tourisme (en particulier à la découverte de Prague). Les deux groupes ont recherché en commun une application. À la suite de la visite de la cristallerie de Karolinka, ils ont décidé de faire fabriquer un instrument de musique en cristal.

Le groupe tchèque est venu à Manosque du 8 au 15 décembre 1994. Une journée de travail a été organisée à Cadarache. L'équipe de Manosque a montré comment manipuler le vibromètre. À cette occasion, des mesures de fréquences propres sur des structures en cristal (verres, comptoir, tiges...) ont été réalisées.

2.5. La recherche d'une application

2.5.1. Lien entre un son et les modes propres de la source

C'est donc au cours de l'échange avec la République Tchèque que l'idée est venue de créer un instrument de musique en cristal. L'idée première est d'utiliser les connaissances acquises lors de l'étude expérimentale à Cadarache avec le vibromètre laser. Les élèves savent déterminer expérimentalement les modes propres d'une structure. Ils savent aussi modéliser les poutres et les coques.

Lors de l'étude de la vibration d'une «flûte à champagne», ils ont pu constater que la modélisation n'est pas simple, car ce n'est ni une poutre, ni une coque. L'étude du son émis par cette flûte a pu être faite avec le logiciel SON. Ce logiciel a permis de décomposer la vibration sonore enregistrée en séries de Fourier, et de mettre en évidence le fondamental ainsi que quelques harmoniques. Les résultats obtenus ainsi ont pu être reliés à l'étude vibrométrique et donc aux modes propres du verre.

2.5.2. Le projet d'application

Après beaucoup d'hésitations, chaque équipe a décidé de construire un instrument de musique : les Tchèques, à partir de cylindres en cristal, modélisables par des poutres ; les Français, à partir de cloches, modélisables par des coques.

L'idée est de définir, à partir des connaissances acquises lors de l'étude expérimentale, les caractéristiques à donner à une structure en cristal (cylindre ou cloche), pour qu'elle donne un son dont la hauteur soit celle d'une note de la gamme.

Le travail s'est fait en quatre temps :

- 1) prévisions par le calcul des dimensions à donner à la structure pour qu'elle produise un son correspondant à une note
- 2) réalisation de la structure en cristal par un maître verrier
- 3) contrôle du résultat à l'aide de deux méthodes :
 - par analyse du son (micro + interface CANDIBUS + logiciel SON)
 - par vibrométrie laser
- 4) essai d'interprétation des résultats obtenus (résonance et tuyaux sonores).

Les diagrammes de la figure 1 montrent les résultats précis qui ont été obtenus.

3. LES DOMAINES DE LA PHYSIQUE EXPLORÉS

Nous avons déjà dit que l'intérêt des Olympiades est que tout doit être prétexte à faire de la physique, et si possible sous forme expérimentale. Pour cela, la démarche qui nous paraît la plus intéressante consiste, le plus tôt possible, à mettre en place une expérience. Il faut, peu à peu, la faire fonctionner, l'analyser, l'améliorer et «la faire parler».

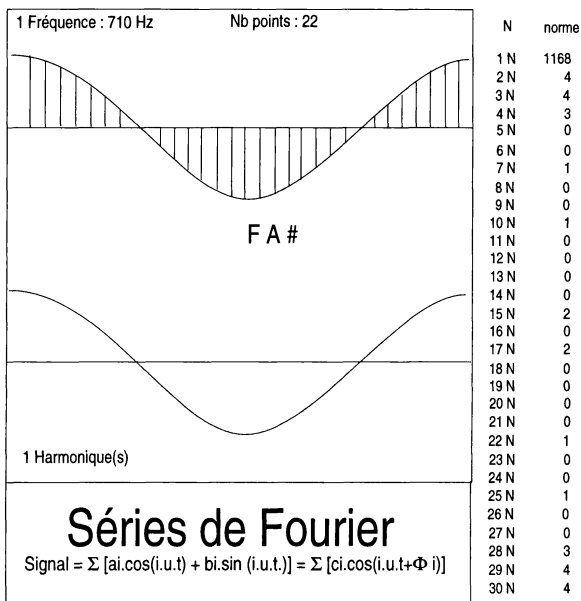
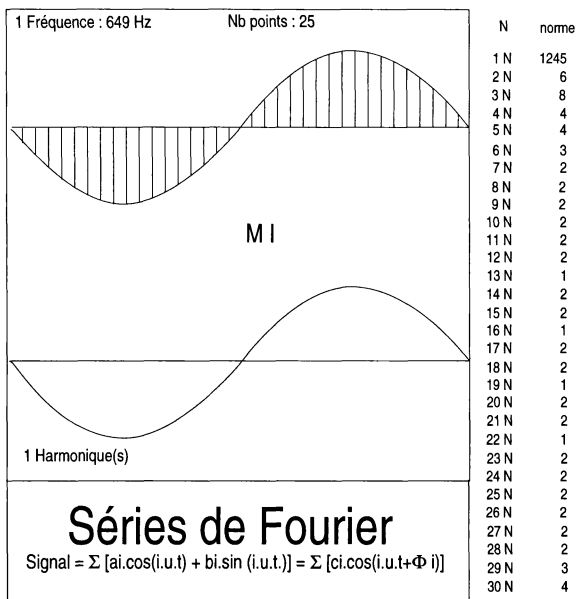
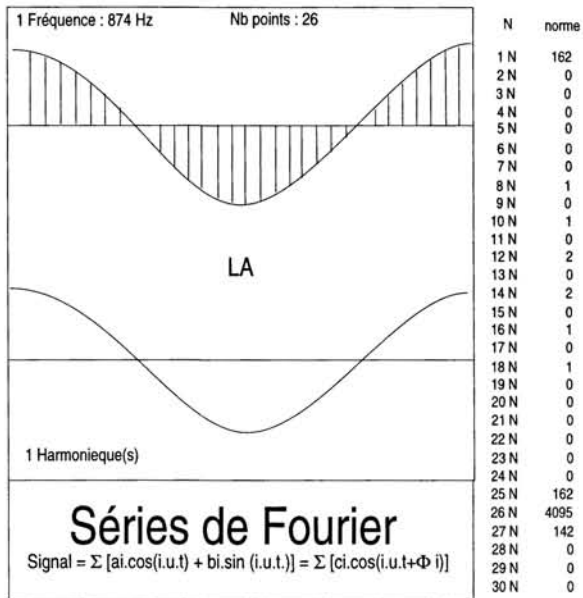
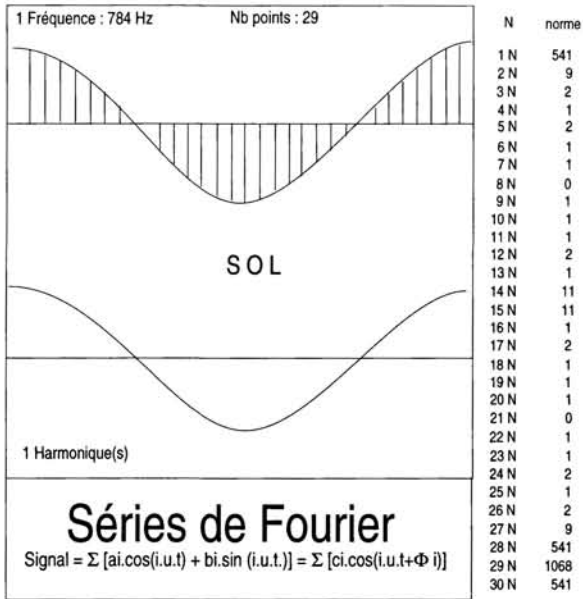


Figure 1 : Analyse des sons produits par les différentes cloches



Le rôle de l'enseignant est d'aider les élèves à la compréhension de ce qui se passe en apportant les notions de physique qu'ils ne connaissent pas, ou en approfondissant celles qui font partie de leur programme.

Pour la compréhension du sujet (la notion de modes propres)

Il nous a fallu étudier de façon théorique et expérimentale (équation différentielle, formules des fréquences propres) :

- le pendule élastique
- le pendule simple
- les cordes vibrantes
- les poutres
- les coques.

Nous avons également abordé la notion de modèle grâce à l'utilisation des logiciels de modélisation CASTEM 2000 et RDM.

Pour la compréhension du dispositif expérimental

- la vibrométrie laser
- le laser
- l'effet Doppler
- la décomposition en séries de Fourier.

Pour la conception de l'instrument de musique

- les qualités d'un son (hauteur, intensité, timbre)
- la gamme tempérée, les tons, les intervalles de Savart...
- l'étude expérimentale d'un son (fondamental, harmoniques)
- les phénomènes de résonance
- les tuyaux sonores et les cordes vibrantes.

4. LA PRÉSENTATION DU CONCOURS

Régulièrement, les élèves ont rédigé les cours théoriques, les comptes rendus d'expérience. Ce travail manque d'unité ; il faut trouver un fil conducteur pour harmoniser l'ensemble en liaison avec le sujet choisi. Pour la présentation devant le jury, il reste à préparer la rédaction d'un mémoire ainsi que la présentation orale du travail.

Ces deux activités sont difficiles et très formatrices pour des jeunes peu habitués à rédiger un travail personnel et à s'exprimer devant un jury.

4.1. Le mémoire

C'est la trace écrite de toutes nos activités de recherche. Il doit parvenir au jury une dizaine de jours avant la présentation, et sera étudié en détail, à l'avance, par l'un de ses membres (le rapporteur). L'expérience des années précédentes nous a permis d'habituer nos élèves à l'utilisation d'un traitement de texte dès le début de l'année. Pour cela, nous avons installé au CDI (centre de documentation du lycée) un ordinateur réservé aux sciences physiques avec WordPerfect que nos élèves manipulent très bien.

De nombreuses journées ont été nécessaires pour arriver à un résultat correct : concision, précision du langage. Le document écrit a été réalisé en une quarantaine d'exemplaires (trois sont envoyés au jury ; un certain nombre est conservé par l'administration, les autres resteront la propriété des élèves).

4.2. La présentation orale

Il s'agit de présenter l'ensemble des travaux au jury en vingt minutes. C'est donc une épreuve décisive : à quoi bon avoir effectué un travail si l'on ne sait pas raconter ce que l'on a fait ? Cette présentation est suivie par des questions du jury pendant dix minutes.

Pour organiser cette présentation, il faut tout d'abord répartir les tâches en découpant l'ensemble en séquences qui seront présentées par chaque membre du groupe.

Les premiers essais sont en général catastrophiques (trop long, des oublis, les expériences présentées en direct ne marchent pas, etc.). Il semble impossible d'arriver à réduire la durée. Les élèves ont tendance à parler plus vite au lieu d'améliorer la concision. Certains élèves s'expriment mieux que d'autres. Faut-il laisser la parole à tout le monde ? Tout cela est bien compliqué.

Mais quel soulagement et quelle satisfaction lorsque le jour de la présentation, en vingt minutes, chacun a trouvé sa place, et que l'ensemble de l'équipe (franco-tchèque) a réussi à tout dire, sans précipitation, et à jouer deux morceaux de musique sur les deux instruments qui ont été réalisés !

5. CONCLUSION

Tout doit être prétexte à faire de la physique, mais il n'est pas évident pour des élèves de première d'assimiler des notions telles que la recherche des harmoniques d'un son à partir de la décomposition en séries de Fourier, l'effet Doppler ou encore le fonctionnement du laser.

L'informatique nous a beaucoup aidés en restant à leur niveau. Il nous a fallu souvent anticiper sur le programme de terminale. Ce n'est qu'une fois le mémoire rédigé que toutes ces notions ont été bien assimilées. En tout cas, rien ne doit être laissé sans explications, et l'enseignant doit constamment trouver le moyen de se mettre à la portée des élèves.

La formule des Olympiades de Physique permet à des jeunes lycéens de faire de la véritable Physique avec beaucoup d'enthousiasme. Malgré les difficultés rencontrées, nous pensons que cela est possible.

Apprentissage du mouvement diurne de la Terre par des enfants âgés de 9 à 10 ans

Hélène MERLE, Jean-Michel DUSSEAU

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

Résumé

Cet article décrit la mise en œuvre de différents outils didactiques, en particulier d'un planétarium, pour faire acquérir la notion de mouvement diurne de la Terre, par des enfants âgés de 9 à 10 ans. Les activités réalisées permettent de déterminer les difficultés rencontrées par les élèves. Pour les surmonter, les enfants doivent rompre avec les concepts quotidiens, c'est-à-dire construire le concept d'horizon, passer d'une vision plane des espaces astronomiques à une vision et une représentation en volume (voûte céleste), et enfin comprendre la propriété d'immobilité des points situés sur un axe de rotation.

Mots clés : mouvement diurne, planétarium, modèle héliocentrique.

Abstract

This paper describes an investigation using different didactic methods to teach the concept of diurnal motion of the Earth to 9-10 aged pupils. The activities performed allow for the identifying of difficulties which need to be overcome in handling everyday misconceptions. It is necessary to build the concept of horizon, to relate space to volume and finally to understand the motionless properties of points located on a rotation axis.

Key words : diurnal motion, planetarium, suncentred model.

Resumen

Este artículo describe la ejecución de diferentes instrumentos didácticos, en particular de un planetarium, para hacer adquirir la noción de movimiento diurno de la tierra, a niños de 9 a 10 años. Las actividades realizadas permiten determinar las dificultades encontradas por los alumnos. Para superar estas dificultades los niños deben romper con los conceptos cotidianos, es decir, construir el concepto de horizonte, pasar de una visión plana de los espacios astronómicos a una visión y una representación en volumen (bóveda celeste), y finalmente comprender la propiedad de inmovilidad de los puntos situados sobre un eje de rotación.

Palabras claves : *movimiento diurno, planetarium, modelo heliocéntrico.*

1. INTRODUCTION

Les enseignements scientifiques dispensés à l'école élémentaire ont pour but, quel que soit le pays, de permettre à l'enfant de découvrir le monde naturel dans lequel il vit, et notamment la place de celui-ci dans l'univers. C'est le cas des programmes français (BOEN, 1995) destinés au cycle des approfondissements (8-11 ans) de l'école primaire. La partie consacrée au ciel et à la Terre (rubrique relative aux Sciences et à la Technologie) mentionne : «*Le mouvement apparent du Soleil ; la rotation de la Terre sur elle-même ...*».

Mais l'apprentissage du mouvement diurne de la Terre se heurte à de nombreuses difficultés. La plus souvent invoquée (Lanciano, 1987), est que nous vivons sur une Terre que nous «sentons» immobile. Ceci se traduit par des expressions telle «*le Soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest*», qui, si elles décrivent correctement une observation du mouvement du Soleil vu du système de référence Terre (Pierrard, 1988), ne favorisent pas l'idée d'une Terre tournant à toute vitesse sur elle-même et autour du Soleil. Or c'est cette vision de la Terre dans le système solaire et dans l'Univers que les programmes scolaires invitent à développer chez l'enfant !

Bien sûr, certains élèves, pour l'avoir entendu dans le milieu extrascolaire et principalement familial énoncent : «*On sait bien que c'est la Terre qui tourne et que ce n'est pas le Soleil*», mais ceci n'est pas significatif de la maîtrise du modèle héliocentrique. En effet les élèves confondent souvent le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même et son mouvement de révolution autour du Soleil et ne les associent pas au phénomène correspondant (alternance jour-nuit, alternance des saisons).

Dans cet article, nous ne nous focaliserons pas sur les diverses modélisations possibles ni sur l'activité de modélisation elle-même, étudiées dans un cas semblable par Pierrard (1988). Notre travail porte plutôt sur les concepts que les élèves doivent mobiliser pour construire une réponse à la question : «Comment expliquer les changements observés dans le ciel au fil des heures et l'alternance des jours et des nuits ?» dans le cadre d'un modèle héliocentrique. Pour cela, nous avons utilisé un planétarium en nous demandant :

– s'il constituait un outil didactique facilitant la compréhension du mouvement diurne ;

– si le moment de son introduction dans la démarche avait de l'importance.

2. EXPÉRIMENTATION

2.1. Procédures utilisées

Nous avons travaillé avec 50 élèves de cours moyen première année, âgés de 9 à 10 ans, répartis en deux classes de 25, de bon niveau scolaire et appartenant à un milieu social assez favorisé dans l'ensemble. Ces élèves sont habitués à pratiquer les méthodes actives, à travailler en groupe lors de phases de recherche, à affronter des situations-problèmes aménagées par l'enseignant.

Nous avons utilisé les deux procédures présentées ci-après. L'une vise à déterminer si le fait d'interpréter d'abord le mouvement apparent du Soleil permet aux élèves d'en inférer le mouvement de la sphère céleste (classe A). L'autre, dans la classe B, propose d'abord l'étude du mouvement apparent de l'ensemble du ciel avant de la restreindre au cas du Soleil. Il s'agit donc d'introduire une variable didactique en testant des procédures de passage du particulier vers le général (classe A) et du général vers le particulier (classe B).

Les deux procédures sont :

Classe A : C **SS** Ev **SP** Ev **SE** Et Ed Ed'

Classe B : C **SP** Ev **SE** Ev **SS** Et Ed Ed'

avec

C : questionnaires permettant de recueillir les conceptions des enfants ;

SS : séquence d'enseignement traditionnelle, basée sur l'observation et l'interprétation du mouvement apparent du Soleil (cahiers CLAIRAUT, 1991) ;

SP : séance utilisant un mini-planétarium, modèle GOTO EX-3 de chez PERL, permettant de projeter entre autres les positions de 500 étoiles sur un dôme de trois mètres de diamètre, séquence au cours de laquelle le mouvement apparent des étoiles est montré aux élèves ;

SE : séquence d'exploitation mettant en œuvre des demi-globes transparents d'un vingtaine de centimètres de diamètre, représentant la voûte céleste. Cette séquence vise à interpréter le mouvement d'ensemble de la voûte céleste ;

Ev, Et, Ed, Ed' : Après chaque séquence, des évaluations Ev ont été proposées aux élèves de façon à repérer les moments clés des acquisitions. Une évaluation terminale Et a eu lieu à la fin des enseignements. Enfin deux évaluations Ed et Ed' ont eu lieu en différé, l'une deux mois après Et, l'autre un an après. Ces évaluations ont été complétées par des entretiens individuels chaque fois que les réponses étaient confuses ou difficiles à interpréter.

Les phases C et E ainsi que les séquences SS et SE conçues par les auteurs de l'article ont été réalisées dans leur classe par chaque maîtresse, en présence de l'un de nous, tandis que lors des séquences SP, c'est la maîtresse qui jouait le rôle d'observateur.

2.2. Conceptions des enfants

En ce qui concerne le mouvement apparent des étoiles, seulement 14% des enfants le connaissent avant enseignement et en fournissent une explication partiellement correcte. Ce pourcentage ne varie pratiquement pas en ce qui concerne le Soleil : seuls 16% des enfants expliquent son mouvement par la rotation de la Terre sur elle-même.

Placés devant un choix, les enfants comparent le ciel nocturne à un plafond (26 sur 50), à un mur (10 sur 50), ou à un chapiteau (6 sur 50). Quand on leur propose des représentations planes illustrées du ciel nocturne, le modèle de voûte céleste n'est ni choisi, ni rejeté ; soit la représentation voulant donner une impression de volume n'a pas réellement été perçue comme telle, soit ce modèle n'existe pas dans l'esprit des enfants. Ceci est confirmé lorsqu'on propose aux enfants des schémas relatifs au mouvement apparent du Soleil pendant la journée : les schémas plans sont majoritairement acceptés comme représentatifs, par rapport à des schémas en perspective donnant une idée de volume.

2.3. Analyse de l'expérimentation et discussion

2.3.1. Lors de la séquence SS, on repère la position du Soleil à différents moments de la journée par rapport à un horizon local. Puis certains enfants proposent spontanément d'expliquer ce mouvement apparent du Soleil d'Est en Ouest dans le ciel sur une journée, et l'alternance jour-nuit, par la rotation de la Terre sur elle-même en 24 heures autour de l'axe des pôles. Pour valider cette hypothèse, on utilise le mime et la manipulation de maquettes (globes terrestres éclairés par un projecteur de diapositives simulant le Soleil).

2.3.2. Lors de la séance SP, après repérage sur la toile du planétarium de quelques constellations (Grande Ourse, Petite Ourse et l'étoile polaire, Cassiopée, Orion, le Cygne), le mouvement de la voûte céleste est déclenché, et il provoque beaucoup d'étonnement chez les enfants.

Pour la classe A, familiarisée, par un enseignement traditionnel, avec le mouvement diurne de la Terre, ce dernier est rapidement mobilisé par les élèves, mais ils formulent aussitôt deux questions :

– «*Pourquoi les étoiles tournent-elles "penchées" ?*» Ceci confirme que leur vision du ciel est plane. En effet, lors de l'observation du mouvement apparent du Soleil, les élèves ont eu le sentiment que ce mouvement s'effectuait dans un plan vertical, et l'inclinaison des trajectoires, nettement visible ici, les intrigue beaucoup.

– «*Pourquoi l'étoile polaire ne tourne-t-elle pas ?*» Cette question met en évidence l'absence de maîtrise du modèle invoqué.

Ainsi, la séance du planétarium participe à la construction du concept de mouvement diurne, mais l'immobilité apparente de la polaire et l'inclinaison des trajectoires constituent des obstacles nouveaux. D'où la nécessité pour les enfants de remettre en cause leur modèle explicatif, ou du moins de l'enrichir pour y intégrer ces nouvelles données. Cette possibilité va leur être offerte lors de la séquence SE.

Pour la classe B, qui n'a eu aucun enseignement préalable, l'unique question qui préoccupe les enfants est : «*Pourquoi les étoiles tournent-elles ?*» Les principales explications qu'ils proposent sont les suivantes :

- «*Le vent pousse les étoiles*» ;
- «*La Terre tourne. D'un côté, il y a les étoiles et c'est la nuit ; de l'autre côté, il y a le Soleil et c'est le jour*» ;
- «*La Terre tourne et fait tourner les étoiles*».

Ces hypothèses sont débattues dans la classe et réfutées, pour les deux premières, par des contre-exemples venant des élèves eux-mêmes. Pour la dernière hypothèse, non seulement les enfants ne trouvent pas d'arguments pour la réfuter, mais par effet de contagion, tous finissent par l'accepter comme une explication possible. La maîtresse leur indique alors que lors d'une prochaine séance (SE), ils procéderont à une vérification.

2.3.3. Lors des séquences SE, dans un premier temps, les enfants disposent d'une planchette représentant le sol, sur laquelle est placé au centre un petit personnage symbolisant l'observateur terrestre. Afin d'éviter que cet outil renforce l'idée d'une Terre plate (Vosniadou, 1992), un travail complémentaire a eu lieu (Merle, 1995). Un demi-globe transparent renversé sur cette planchette représente pour les élèves le grand «parapluie» du planétarium. La position de l'étoile polaire est précisée par un trou dans le plastique. Par groupes de quatre, les enfants doivent reproduire à l'aide de crayons-feutres les trajectoires, observées lors de la séquence SP, de trois étoiles : une assez proche de l'étoile polaire, une autre plus éloignée vers le sud et une dernière encore plus au sud.

Après de nombreuses confrontations gérées par la maîtresse, les enfants, malgré leurs réticences initiales, ont été amenés à construire des cercles «incomplets» pour les étoiles éloignées de la polaire (figure 1).

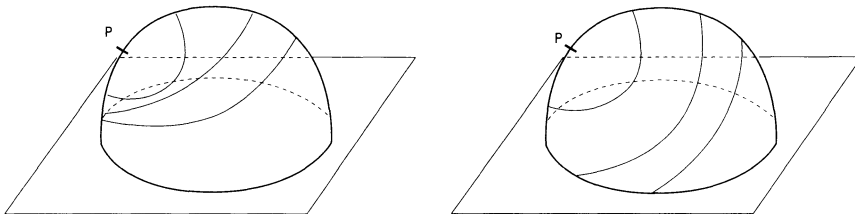


Figure 1 : **À gauche, premières productions des élèves ne faisant pas disparaître les étoiles ; à droite, productions correctes.**

Cette situation a contribué à la construction d'une idée essentielle et pourtant difficile pour de jeunes enfants, à savoir qu'il existe un espace inaccessible à l'observateur. Tous les élèves ont bien compris que lors du passage sous l'horizon, si l'étoile n'était plus visible pour l'observateur, elle n'en continuait pas moins son chemin.

L'exploitation des divers tracés a permis de bien décrire les trajectoires observées : ce sont des cercles inclinés, soit complets lorsque l'étoile est proche de la polaire (l'étoile reste alors toujours au-dessus de l'horizon), soit incomplets dans les autres cas (on a alors affaire à une étoile qui se «lève» vers l'Est et se «couche» vers l'Ouest). Ces trajectoires sont toutes

parallèles entre elles, observation qui a beaucoup frappé les élèves. Ce travail est indispensable pour que les élèves prennent conscience qu'il s'agit bien d'un mouvement d'ensemble du ciel, mouvement qu'ils n'avaient perçu que superficiellement lors de la séance du planétarium, comme le prouvent leurs premières productions.

Dans un deuxième temps, l'idée des élèves selon laquelle « *ce ne sont pas les étoiles qui tournent, c'est la Terre* » est reprise par le maître. Munis du même dôme hémisphérique, d'un mini-globe terrestre et d'une aiguille à tricoter, les élèves doivent proposer une réalisation concrète répondant à la consigne suivante : « Si les étoiles sont fixes, comment faut-il placer la Terre et comment faut-il la faire tourner pour qu'un observateur terrestre voie tourner les étoiles autour de l'étoile polaire ? » Le premier tâtonnement consiste à placer la Terre au centre de la voûte céleste. Ils inclinent ensuite intuitivement la Terre en direction de la polaire et la font tourner sur elle-même pour tenter d'imaginer les conséquences de ce mouvement pour un observateur terrestre. Ils observent également : « *Si je mets mon doigt sur l'aiguille et que je la tourne, je ne sens pas que ça bouge : c'est pour ça que la polaire semble immobile.* »

Si on leur demande de décrire le trajet d'une étoile particulière, ils parviennent à produire, partiellement guidés par la maîtresse, le raisonnement suivant : « *L'étoile est au-dessus de la Russie, à l'Est de la France ; si on est en France, on la voit se lever. Après il faut tourner la Terre dans ce sens (l'enfant indique alors le sens correct de rotation), pour que l'étoile soit au-dessus de la France. Ensuite, elle se couche vers l'Ouest, quand elle est au-dessus de l'Amérique.* »

3. RÉSULTATS DES ÉVALUATIONS

À chacune des évaluations, nous avons testé la capacité des élèves à interpréter ou anticiper les mouvements du Soleil, de la Lune ou des étoiles, pour différentes positions d'un observateur (pôle Nord ou autre planète par exemple). Nous avons considéré que les deux éléments du programme : « Mouvement apparent du Soleil ; rotation de la Terre sur elle-même » étaient acquis lorsque les enfants répondaient correctement à tous les types d'exercices proposés. Le terme « apparent » désignant alors pour eux, par exemple, un mouvement observable depuis un repère terrestre par un observateur lié à ce repère, mais dû en fait à la rotation de la Terre sur elle-même.

Bien entendu, les pourcentages donnés ne sont qu'indicatifs d'une tendance, étant donné les tailles des populations observées.

Pour la classe A, lors de l'évaluation opérée après la séquence SS, sur 23 élèves présents, 91% admettent que la Terre se déplace réellement par rapport au Soleil, et 78% mettent en cause le mouvement propre de la Terre pour expliquer le mouvement apparent de la Lune d'heure en heure. Par contre, il est beaucoup plus difficile pour ces élèves d'imaginer un éventuel déplacement observable des étoiles. On constate alors que seulement 43% fournissent une réponse correcte ou approximative. On note enfin qu'aucun enfant n'est capable de prévoir comment se déplaceront ces étoiles. **Le transfert d'une situation particulière (Soleil) à un cas général (étoiles) semble donc difficile.**

Lors de l'évaluation qui suit SP, **le même pourcentage de réussite que précédemment (43%) met en évidence que la séance planétarium SP ne suffit pas à elle seule.**

Pour la classe B, la séquence de planétarium suivie de la séquence d'exploitation permet d'obtenir 56% de bonnes réponses à ces mêmes questions.

Lors de l'évaluation terminale le pourcentage de réponses correctes est de 58% dans les deux classes, ce qui laisse supposer que les deux procédures sont équivalentes.

Mais, dans la classe A, la séquence SE permet de passer de 43 à 58 % de réussite, alors que dans la classe B, la séquence SS ne modifie pas de façon significative le pourcentage de réussite (56 à 58%) concernant le mouvement apparent des étoiles. **Les connaissances acquises sur le mouvement apparent du Soleil ne sont donc pas réinvesties en ce qui concerne les étoiles.**

Au contraire, si l'on considère les seuls exercices concernant le cas du mouvement apparent du Soleil, on observe dans la classe B que le travail sur le planétarium permet aux enfants de progresser. **Ainsi, semble apparaître l'intérêt de commencer par une connaissance plus générale avant de passer aux cas particuliers.**

On peut dire en conclusion que presque la moitié (48%) des élèves a totalement assimilé le mouvement diurne de la Terre et ses conséquences puisque, deux mois après l'évaluation terminale, ces élèves réussissent, lors d'une évaluation différée Ed, des exercices jugés difficiles par les enseignantes des deux classes. Pour 30% des élèves, la maîtrise du concept est encore incertaine.

Lors de l'évaluation différée Ed' réalisée un an après, les mêmes exercices ont été proposés aux 45 élèves encore présents dans les écoles concernées. Nous avons pu ainsi comparer les résultats individuels de chaque élève. L'analyse montre que, parmi les élèves manifestant une

parfaite maîtrise du concept lors de Ed, cinq fournissent des réponses plus ambiguës. Par contre, dix élèves pour lesquels la maîtrise semblait incertaine ont fortement progressé. Au total, le pourcentage de réponses totalement satisfaisantes passe de 48 à 58%. Ce résultat confirme que, pour ces élèves-là, il y a réellement eu conceptualisation et non apprentissage purement formel.

Nous avons enfin vérifié que les procédures choisies étaient transposables sans trop de difficultés en fournissant des scénarios très précis à quatre enseignants qui, de manière autonome, les ont reproduits dans leurs classes (dont une située dans une zone d'éducation prioritaire). Les résultats obtenus, lors des évaluations terminales, confirment la nécessité du passage au planétarium, le travail sur le seul Soleil n'étant pas suffisant.

4. CONCLUSION

La question : «Pourquoi ne sent-on pas le mouvement de la Terre ?» est essentiellement abordée par Piaget (1974), à travers l'évolution «*de l'absolu égocentrisme intellectuel à la décentration relativiste*».

Cette décentration est certes nécessaire pour construire le concept d'horizon. Les enfants doivent comprendre que celui-ci ne constitue pas une limite de l'espace. L'activité de tracé leur fait prendre conscience de la difficulté et les oblige à s'y affronter : on peut raisonnablement penser que cette activité les aide à construire le concept d'horizon et à approfondir celui d'une Terre sphérique flottant dans un espace infini (Nussbaum, 1986).

De plus, les enfants ont initialement une vision plane de l'espace astronomique et le concept de voûte céleste utilisé ici demande aux élèves de passer à une perception et une représentation de l'espace «en volume». Même si la notion de voûte risque d'induire l'idée que les étoiles sont toutes équidistantes de la Terre, cette représentation constitue un progrès vers la conception de l'espace astronomique.

Enfin, si les résultats des évaluations ne permettent pas de trancher sur le choix d'une procédure, le travail au planétarium conduit, plus que le travail à partir du Soleil, à prendre conscience de la nature réelle du mouvement de la Terre (mouvement de rotation), et de ses propriétés (immobilité des points situés sur l'axe de rotation). En effet, lorsque les enfants miment le mouvement de la Terre par rapport au Soleil, ils ressentent davantage leurs déplacements comme une succession de petits mouvements de translation ; l'étonnement suscité par l'immobilité de la polaire montre bien qu'il s'agit là d'un obstacle important vers la compréhension réelle du mouvement diurne de la Terre. Ainsi, la compréhension du mouvement de rotation de la Terre sur elle-

même est impossible par la seule prise en compte du mouvement apparent du Soleil. Les élèves ne peuvent réellement accéder à la compréhension du mouvement diurne de la Terre que si on les confronte au mouvement d'ensemble du ciel autour de l'axe des pôles. Et si le planétarium ne se suffit pas à lui-même, ce que nous avons montré, il joue un rôle de catalyseur, essentiel pour déclencher le questionnement des élèves, car lui seul permet de visualiser le mouvement d'ensemble de la voûte céleste.

En conclusion, ces concepts (horizon, voûte céleste, axe de rotation) qui font obstacle à l'acquisition du concept de mouvement diurne de la Terre, correspondent à l'idée de Vygotski (1934), reprise par d'autres auteurs (Vergnaud, 1989), selon laquelle les concepts scientifiques sont organisés en système. Pour notre part, nous pensons avoir montré que seule leur prise en compte globale permet de dépasser un apprentissage superficiel de connaissances dans le domaine concerné.

BIBLIOGRAPHIE

- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1995). Programmes pour l'école primaire. *Bulletin officiel*, n°5, p. 35. Paris, Ministère de l'Éducation nationale.
- CLAIRAUT (Cahiers) (1991). *Hors série n°1 : Astronomie à l'école élémentaire*. Saint Cloud, Publications du CLEA (Comité de Liaison Enseignants Astronomes).
- LANCIANO N. (1987). Voir comme Ptolémée et penser comme Copernic. In A. Giordan et J.-L. Martinand (Eds), *Actes des IX^{es} Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, pp. 255-260.
- MERLE H. (1995). Sensibilisation d'enfants de 9 à 11 ans à l'histoire des sciences : l'expérience d'Eratosthène. In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Eds), *Actes des XVII^{es} Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, pp. 475-480.
- NUSSBAUM J. (1986). La perception par les élèves des concepts astronomiques. In *Proceedings of the GIREP Conference : COSMOS an Educational Challenge*. Copenhagen.
- PIAGET J. (1974). *Introduction à l'épistémologie génétique*, vol. 2 : *La pensée physique*. Paris, PUF.
- PIERRARD M-A. (1988). Modélisation et astronomie. *Aster*, n°7, pp. 91-102.
- VERGNAUD G. (1989). La formation des concepts scientifiques. *Enfance*, n° 1-2, pp. 111-118. Paris, PUF.
- VOSNIADOU S. (1992). Modeling the learner : Lessons from the study of knowledge reorganization in astronomy. In A. Tiberghien & H. Mandl (Eds), *Intelligent learning environments and knowledge acquisition in Physics*. Berlin, Springer Verlag, NATO ASI Series, vol. 86, pp.101-110.
- VYGOTSKI L. (1985). *Pensée et langage*, chapitre 6 : Étude du développement des concepts scientifiques pendant l'enfance (1^{ère} éd. 1934). Paris, Éditions sociales.

Essai de caractérisation des représentations du vivant chez des élèves du cours préparatoire

Denise NURY

IUFM de l'Académie d'Aix-Marseille
63 La Canebière
13232 Marseille cedex 01, France.

Jeanne LAMARQUE

5, chemin d'Orange
13100 Aix-en-Provence, France.

Pierre CARON

27, impasse du Cèdre
84530 Villelaure, France.

Résumé

Les représentations que les enfants du cours préparatoire peuvent avoir du vivant en général, ont été caractérisées chez des élèves non pas en situation purement verbale, mais au cours d'une confrontation avec des photographies d'êtres vivants, d'objets mécaniques ou d'éléments naturels. Les réponses des enfants ont été analysées grâce à une grille élaborée en utilisant certains critères caractérisant la vie et la non-vie, afin de révéler la pensée enfantine à des catégories scientifiques

plutôt qu'à des catégories génétiques. Cette analyse a permis de définir une action pédagogique susceptible de faire évoluer ces représentations.

Mots clés : *représentations, grille d'analyse, vivant, école élémentaire, cours préparatoire.*

Abstract

This paper is focused on children's general conceptions of living beings at the first year level of primary school. These conceptions were characterised not only through verbal situations but through direct presentation of pictures with living beings, mechanical devices and natural elements. Children's answers were analysed with specific sets of categories corresponding to varied criteria characterising life and «lifeless» notions, in order to refer to scientific rather than genetic categories concerning the study of the child's mind. Consequently, a pedagogical action was designed in order to increase the level of these conceptions.

Key words : *representations, analysis, living beings, first level of primary school.*

Resumen

Las representaciones que los niños del curso preparatorio pueden tener de los seres vivos en general, han sido caracterizadas en los alumnos, no solamente a través de situaciones verbales, sino en el transcurso de una confrontación con fotografías de seres vivos, objetos mecánicos o elementos naturales. Las respuestas de los niños han sido analizadas gracias a una tabla elaborada utilizando ciertos criterios que caracterizan la vida y la no vida, a fin de referir el pensamiento infantil a categorías científicas más que a categorías genéticas. Este análisis permitió definir una acción pedagógica susceptible de hacer evolucionar esas representaciones.

Palabras claves : *representaciones, tabla de análisis, seres vivos, escuela básica, curso preparatorio.*

Notre but étant d'analyser les représentations que les enfants du cours préparatoire (CP) pouvaient avoir du vivant en général, et d'engager une action pédagogique permettant de faire évoluer ces représentations vers des formes de pensée plus objectives et scientifiques, nous avons mis au point une épreuve «Conception du vivant au CP» et tenté d'élaborer un instrument qui nous a permis, d'une certaine façon, de modéliser les conceptions inventoriées. Nous employons les termes «*représentation*» selon le sens de Vergnaud (1983) et «*conception*» selon l'acception de Giordan et De Vecchi (1987). Ce travail a fait l'objet de deux rapports dans le cadre des recherches de l'INRP (Caron et al., 1976 ; Lamarque et al., 1978).

Même si les travaux dont nous rendons compte sont relativement anciens, il s'avère qu'ils ont été confirmés par Rolland qui, utilisant une démarche voisine de la nôtre, appliquée avec des élèves de la classe de sixième, aboutit aux mêmes types de conclusions que nous (Rolland, 1994 ; Rolland & Marzin, 1996, dans ce numéro). Ce type de recherche correspond à des travaux qui ont eu depuis un développement important (Bloom, 1990). Il nous a donc paru intéressant de faire état d'un travail d'innovation pédagogique réalisé à l'époque.

1. CARACTÉRISTIQUES DU TRAVAIL

Sans remettre en question fondamentalement les travaux de Piaget (1927, 1938) et ceux de Laurendeau et Pinard (1962) qui ont mis l'accent sur l'existence d'une pensée précausale et animiste, évoluant par stades, nous avons voulu explorer d'autres modes d'approche :

- mettre l'enfant en relation non purement verbale avec le vivant,
- référer la pensée de l'enfant à des catégories scientifiques plutôt qu'à des catégories génétiques.

Le travail s'est déroulé dans trois classes de cours préparatoire choisies en fonction de leur population scolaire (milieu urbain populaire : CP 1, milieu rural-résidentiel : CP 2, milieu urbain favorisé : CP 3), et un CP témoin dans lequel aucune activité scientifique n'a été menée sur la notion de vivant, soit 77 élèves au total.

Nous avons fait passer une épreuve aux enfants en début d'année en leur présentant une collection de photographies d'êtres vivants animaux et végétaux, mais aussi d'objets inertes pour lesquels l'attribution de la vie est fréquente chez les enfants. Cette collection comporte un certain nombre de difficultés sur le plan scientifique, afin de pouvoir étalonner les réactions des enfants de façon plus fine. Elle comprend donc :

- des animaux connus aux mouvements visibles (grillon, hamster, moutons, poisson), des joueurs de football, des animaux aux mouvements moins repérables (escargot, papillon) ;
- des végétaux non douteux (arbre avec feuilles, plante en pot), un végétal complet douteux (arbre sans feuilles), des fragments de végétal (feuille isolée, fleur coupée) ;
- des vivants à vie ralentie (graine de haricot, œuf de poule) ;
- des objets mécaniques dotés de mouvement (jouet mécanique, montres) ;

– des éléments naturels dotés de mouvement (eau calme, cascade, nuages).

Les photographies sont fournies une par une à l'enfant. Il lui est demandé de classer chaque image et chaque objet dans une «patate» : vivant ou non-vivant. En cas d'hésitation, on lui propose de placer l'élément entre les deux classes. On lui demande chaque fois : «*Pourquoi ?*», et pour relancer les justifications, «*Et puis ?*» à l'exclusion de toute autre formule. Aucune explication générale sur le vivant n'est fournie à l'enfant. De même, aucune discussion susceptible d'induire des idées générales à ce sujet n'est engagée. Ce n'est que dans le cas où l'incompréhension est manifeste que des sondages sont faits pour apprécier le degré d'inorganisation de la pensée de l'enfant. Tous les choix, ainsi que les justifications verbales de l'enfant, sont enregistrés sur une fiche.

Pour analyser les réponses, nous avons construit une grille (voir annexe) permettant d'analyser les choix et les critères utilisés par l'enfant en référence à une représentation et à un système scientifique de critères en matière de vie et de non-vie (paragraphe 2.1), de définir les manques par rapport à cet ensemble de critères scientifiques, ainsi que les points communs de la représentation enfantine, afin d'envisager une action pédagogique.

À travers l'ensemble des réponses, nous avons défini des seuils (paragraphe 3.1) que l'enfant semble franchir de façon irréversible, constituant en quelque sorte autant de «pas» en direction de la représentation scientifique définie plus loin. Par ailleurs, il n'était pas question de constituer ces seuils en une série linéaire, définissant finalement une série de niveaux ou de stades. Tout au plus pouvaient-ils permettre d'établir pour chaque enfant une sorte de profil de sa conception du vivant.

Certains au moins de ces seuils pourraient être réinterprétés en terme d'objectifs-obstacles, au sens de Martinand (1986), conceptions à la fois persistantes et résistantes, mais dont le dépassement paraît important dans une formation scientifique donnée.

Les séances hebdomadaires duraient de 30 à 45 minutes selon les thèmes, les visites d'élevages étaient évidemment plus longues. Il y a eu 18 à 23 séances par classe.

En fin d'année, la même épreuve a été redonnée dans les quatre CP de manière à évaluer les progrès et les transformations possibles des représentations enfantines et d'établir le lien entre ces transformations et l'action pédagogique, par comparaison entre les résultats obtenus entre les trois CP où des séances sur le vivant ont été organisées, et ceux du CP témoin où aucune séance spéciale n'a été montée.

2. DÉTERMINATION D'UN PLANNING PÉDAGOGIQUE

2.1. Principes

Pour déterminer ce planning, conformément aux intentions énoncées plus haut, nous avons cherché à mettre en évidence des décalages entre les représentations des enfants et les critères scientifiques de la vie. Il n'est pas question ici d'énoncer de façon définitive et simpliste la «définition scientifique» du vivant, mais de situer les points essentiels (correspondant au domaine conceptuel envisageable à l'école élémentaire) sur lesquels il nous a été possible de faire travailler les enfants de façon à les installer dans une démarche susceptible de devenir scientifique.

a) Nous avons défini la vie par un **faisceau de critères** se regroupant autour de deux propriétés essentielles de l'être vivant : l'**assimilation** (propriété qu'a l'être vivant de synthétiser sa propre substance à partir des aliments puisés dans son milieu, liée aux **fonctions de nutrition**) et la **reproduction** (la possibilité, pour l'être vivant, de donner la vie à un autre être de la même espèce qui pourra à son tour se reproduire). La capacité d'assimilation a pour conséquence les phénomènes de **croissance**.

Ces deux propriétés fondamentales sont communes aux animaux et aux végétaux. Mais il existe aussi des critères spécifiques à la vie animale et à la vie végétale :

– tous les animaux sont doués de mouvements autonomes plus ou moins complexes, liés aux autres fonctions de la vie : **locomotion** des animaux libres, **mouvements** des animaux fixés ;

– pour se nourrir, les plantes vertes ne dépendent pas directement des autres êtres vivants ; elles puisent leur nourriture uniquement dans la matière minérale issue, dans la nature, du recyclage des matières organiques.

b) La séparation entre le vivant et le non-vivant (objets mécaniques, phénomènes naturels) se fait non seulement sur l'absence des critères précédemment définis (critères négatifs), mais aussi sur la présence de critères plus ou moins intuitifs : la reconnaissance de la matière dont est formé l'objet (matière plastique, métal, caillou, eau...) ; la fabrication par l'homme ; l'application de certaines lois physiques, etc.

c) Tous les exercices, toutes les situations, toutes les occasions qui mettront les enfants en présence d'objets, vivants ou non, ont aussi pour objectifs ceux du développement de la pensée scientifique : dépasser l'affectivité et conduire à une certaine objectivité ; développer l'observation

au sens le plus large du terme et surtout l'observation comparative ; permettre à l'enfant de se poser des questions (pensée interrogative) et d'apprendre à analyser le monde qui l'entoure.

2.2. Détermination des activités

Les incompréhensions et/ou les blocages constatés, ainsi que les activités proposées pour y remédier, sont les suivants.

a) Incompréhension totale : un certain nombre d'enfants (7 sur 77) n'accordent visiblement aucune signification aux termes «vivant» et «non-vivant». Aucun exercice spécifique n'a été prévu pour ces cas.

b) Obstacle de l'image : une dizaine d'enfants environ a des difficultés à parler sur l'être ou l'objet représenté, se laissant emprisonner dans des caractères propres au support matériel : «*C'est pas vivant parce que c'est en papier*». Pour lutter contre cela, des exercices divers portant sur l'analyse de photographies ont été mis sur pied.

c) La vie et la mort : au lieu de relier la mort à la vie de façon indissociable, des enfants la constituent en une antithèse absolue de la vie, dont la seule éventualité suffit à rendre celle-ci impensable. C'est ainsi que le papillon, par exemple, «*ce n'est pas vivant parce que ça peut mourir*», tandis que l'eau, «*c'est vivant parce que ça ne meurt jamais*». Un certain nombre d'activités peuvent permettre d'installer la relation vie-mort de façon significative, mais non traumatisante, par opposition à l'usure qui s'attache au non-vivant (l'observation de l'arbre en hiver, des animaux en état de vie ralentie).

d) Multiplicité des critères, critères communs animal-végétal : 26 enfants sur 77 justifient leur choix par de simples tautologies («*Parce que c'est vivant*» ; «*Parce que c'est une bête*» ; «*Il y a un papillon*»...). Parmi les autres, rares sont ceux (24 sur 77) qui donnent plus d'un critère pour justifier le classement d'un élément. Trowbridge et Mintzes (1988) qui étudient les conceptions relatives à la classification animale ont obtenu des résultats comparables. Enfin, quatre enfants seulement montrent dans leurs réponses qu'ils perçoivent la communauté des critères de vie pour l'animal et le végétal.

Le problème est donc de faire concevoir aux enfants, d'une part, que la vie se décèle par des indices multiples et d'autre part, que ces indices peuvent être communs à plusieurs êtres vivants et notamment à l'animal et au végétal.

e) Mouvement autonome et mouvement provoqué : la distinction entre les deux types de mouvement apparaît chez dix enfants seulement (sur 77) de façon assez nette, et n'est utilisée de façon systématique pour départager le vivant du non-vivant que chez quatre d'entre eux. Une série d'exercices (mouvement de l'eau, d'un objet placé sur un plan incliné, d'un automate...) a pour but de mettre en place cette distinction de manière plus assurée.

f) Les germes (œuf et graine) : les réactions des enfants à ce sujet sont extrêmement variées et font apparaître aussi bien des assimilations totales à l'inerte (ne bouge pas) que des attitudes interrogatives. Des travaux sur des semis, l'observation de plusieurs élevages (pontes d'insectes – piérides, vers à soie) doivent permettre de dégager les aspects suivants : un être peut se trouver en état de vie ralentie pendant un certain temps ; rien ne permet d'affirmer le caractère vivant avant l'apparition de l'être vivant complet.

g) Le naturel et l'artificiel : très peu d'enfants font apparaître l'idée de fabrication technique ou de finalité pour caractériser la montre, par exemple. Le but, ici, peut être de dégager sur les objets techniques leur caractère artificiel et étroitement finalisé, par opposition à l'approche de la reproduction chez l'être vivant.

h) Totalité organique et démontage mécanique : 12 enfants seulement sur 77 sont sensibles au problème posé par la fleur coupée qui, séparée de la plante, est en train de mourir. D'une façon générale, la totalité organique est peu perçue. Il importe donc de travailler sur l'opposition entre le caractère démontable, dissociable en parties distinctes, de l'être mécanique, et le caractère d'intégrité indissociable de l'être vivant, même lorsqu'il est articulé comme une machine.

3. ÉVOLUTION DES REPRÉSENTATIONS DES ENFANTS

L'ensemble des réponses positives, pour chaque CP, aux deux épreuves a été consigné et exprimé en pourcentage dans le tableau 1. L'examen des résultats amène aux constatations qui suivent.

3.1. Signification des mots vivant et non-vivant (seuil 1) : en octobre, deux enfants sur 56 (4%) sur les trois CP, 3 sur 21 (14,5%) pour le CP témoin, étaient bloqués par l'épreuve et ne semblaient pas pouvoir donner un sens aux mots «vivant» et «non-vivant». En juin, un seul enfant, dans le CP témoin, en est resté au même point. On peut considérer qu'il s'agit d'un déblocage lié à la scolarisation.

SEUILS	CP 1 23 él.		CP 2 17 él.		CP 3 16 él.		Total 56 élèves				CP contrôle 21 élèves			
							octobre		juin		octobre		juin	
	oct	ju	oct	ju	oct	ju		%		%		%		%
1. Signif. générale	22	23	16	17	16	16	54	96	56	100	18	85.5	20	95
2. Animisme dépassé	17	20	14	17	15	15	46	82	52	93	9	42.8	13	62
3. Non tautologie	20	22	15	17	10	16	45	80	55	98	13	62	17	81
4. Plusieurs critères	13	21	3	16	7	13	23	41	50	89	3	14	7	33
5. Mvt autonome explicité	1	8	1	8	0	3	2	3.5	19	34	2	9	2	9
6. Généralisation mvt	1	3	1	2	0	0	2	3.5	5	9	2	9	2	9
7. Vie à certains végétaux	16	27	7	12	6	10	29	52	44	78.5	7	33	15	71.5
8. Vie à tous les végétaux	10	20	5	10	3	7	18	32	37	66	3	14	5	24
9. Crit. com. anim./végét.	1	3	0	6	2	2	3	5	11	19.5	1	4.5	1	4.5
10. Vie ref. à cert. élém. nat.	12	15	11	13	7	5	30	53.5	33	59	8	38	11	52
11. Vie ref. à tous élém. nat.	7	9	5	7	3	3	15	26.5	19	34	5	24	5	24
12. Critères positifs	2	5	2	4	0	3	4	7	12	21.5	3	14	1	4.5
13. Vie ref. à cert. obj. méc.	18	18	11	17	15	16	44	78.5	51	91	13	62	11	52
14. Vie ref. à tous obj. méc.	8	14	5	12	7	9	20	35.5	35	62.5	5	24	9	43
15. Critères positifs	3	7	3	2	4	5	10	18	13	25	2	9	3	14
16. Vie pertinente à l'œuf	10	15	8	10	4	5	22	39	30	53.5	7	33	3	14
17. Vie pertinente à la graine	5	16	5	4	3	5	13	23	25	44.5	4	19	3	14
18. Interrogation œuf/graine	6	15	1	7	0	1	7	12.5	23	41	1	4.5	0	0
19. Interrog. arbre dépouillé	4	8	0	1	0	0	4	7	9	16	0	0	0	0
20. Interrog. élém. séparés	4	13	2	3	0	3	6	10.7	19	34	1	4.5	4	19

Tableau 1 : Réponses positives aux deux épreuves

3.2. Dépassement de l'animisme (seuil 2) : en octobre, 10 enfants sur 56 (18%) sur les trois CP, et 12 sur 21 (57,2%) pour le CP témoin, classaient indifféremment tous les objets en vivants. En juin, seuls 4 enfants réagissent encore ainsi dans les trois CP contre 8 sur 21, soit 38%, dans le CP témoin. Cette différence pourrait confirmer l'impact des activités scientifiques dans les trois CP, mais il faut nuancer ce résultat en tenant compte du niveau initial plus bas du CP témoin.

Si l'on rapproche ces résultats des réponses aux points 10-11 et 13-14, on s'aperçoit que l'animisme a surtout décru en ce qui concerne les objets mécaniques, mais que les résultats concernant les éléments naturels sont beaucoup moins probants.

3.3. Progrès d'une capacité d'analyse (seuils 3 et 4) : l'évolution est assez nette pour le point 3 (de 82 à 93%), mais elle est comparable à l'évolution de la classe témoin (62 à 81%), et il ne semble pas qu'il faille y voir une action particulière de l'enseignement scientifique donné, mais plutôt une évolution générale du comportement verbal des enfants.

En revanche, les résultats du point 4 (pluralité des critères) semblent attester l'efficacité de l'action pédagogique, puisque les enfants passent de 41 à 89% pour les trois CP, alors que le groupe témoin évolue très peu (14 à 33%).

3.4. Mouvement autonome et mouvement provoqué (seuils 5 et 6) : si le nombre d'enfants capables d'établir explicitement cette distinction reste très faible dans le CP témoin (2 et 2), il progresse de 12 à 19 (3,5 à 34%) dans les trois CP. Mais on peut considérer que ce pourcentage reste faible eu égard à l'effort pédagogique réalisé sur ces points précis. De plus, les enfants capables de manifester une généralisation efficace de cette distinction restent très rares (3,5 à 9%). On peut envisager que ce point exige une maturation suffisante qui se rencontre rarement au CP.

3.5. Attribution de la vie aux végétaux (seuils 7, 8, et 9) : une proportion importante d'enfants attribue la vie à certains végétaux en fin de CP (52 à 78,5% pour les trois CP et 33 à 71,5% pour le CP témoin) sur des critères pertinents. Toutefois la généralisation à l'ensemble des végétaux est plus rare (32 à 66%), encore que la comparaison avec le CP témoin (14 à 24%) tende à prouver l'efficacité de l'enseignement donné sur ce point.

En revanche, la vision des critères communs à l'animal et au végétal, bien qu'en progrès, est assez faible (5 à 19,5%), et il semble bien qu'il y ait là un effort de généralisation supérieur aux possibilités de la plupart des enfants de cet âge.

3.6. Conceptions relatives aux éléments naturels et aux objets mécaniques (seuils 10 à 15) : l'évolution à propos des éléments naturels est décevante ; une proportion importante d'enfants continue à attribuer la vie à l'eau, et surtout aux nuages. Le rapprochement avec la classe témoin semblerait démontrer une constante assez puissante de la pensée enfantine sur ce point. En revanche la désanimation des objets mécaniques a été assez forte (35 à 62% contre 24 à 43% dans le groupe témoin).

3.7. Conceptions relatives à l'œuf et à la graine (seuils 16 et 17) : les réactions vis-à-vis de l'œuf et de la graine (39 à 53% et 23 à 44,5%) marquent une évolution importante dans les trois CP, alors qu'il y a régression sur ce point dans le CP témoin (33 à 14% et 19 à 14%).

3.8. Attitude interrogative (seuils 18, 19 et 20) : il faut noter dans les trois CP une nette évolution des attitudes de caractère interrogatif, qui n'apparaissent presque pas dans le CP témoin. Il est probable qu'il y ait là un acquis de méthode assez considérable.

4. ANALYSE DES PRATIQUES PÉDAGOGIQUES RÉALISÉES DANS LES CLASSES

Bien qu'il y ait eu une concertation importante et que les objectifs aient été définis par l'équipe, les styles didactiques des maîtres ont été un peu différents et les évolutions des élèves ont été également différentes.

Le maître du CP 1 avait pour but essentiel d'amener les enfants à poser un problème et à le résoudre dans une dynamique de classe, en adoptant une attitude interrogative vis-à-vis du donné et en développant le plus souvent possible des démarches relativement expérimentales. Dans les CP 2 et 3, ces objectifs étaient moins présents dans le travail du maître.

Aussi, d'une façon générale, si pour caractériser la vie, les enfants fournissent des critères plus fins et plus nombreux en fin d'année dans les trois classes, ceux des élèves du CP 1 sont plus analytiques, et évoquent souvent les fonctions des parties du corps (rôle des racines, circulation de la sève...). Leurs résultats montrent une évolution assez spectaculaire en ce qui concerne l'attribution de la vie aux graines et l'attitude interrogative vis-à-vis de leur vie latente.

Par ailleurs, dans le CP 2, on a très vite mis l'accent sur la verbalisation des concepts, comme le montre le dialogue suivant :

«M – Finalement, quelle est la grosse différence entre cette poupée qui parle qui chante, qui marche et un vrai bébé ?

E – Elle respire pas. – Elle grandit pas. – La poupée, elle est en plastique et le bébé, il est en vrai.

M – En vrai, qu'est-ce que c'est «en vrai» ?

E – La peau.

M – Et sous la peau ?

E – La chair. – Elle a un disque dans le ventre, et les vrai bébés, ils ont pas de disque dans le ventre. – Elle a pas d'os. – Elle suce pas son pouce. – Elle a pas de sang. – Elle a pas de dents.

M – Oui, mais on pourrait lui en fabriquer ? Quelle est la différence avec les vôtres ?

E – Parce que le bébé, il pousse ses dents, la poupée non.»

C'est probablement la raison pour laquelle un nombre d'enfants très important a eu tendance à répondre à l'épreuve par une énumération de critères abstraits dont la récitation avait un caractère mécanique. 17 enfants semblent réagir ainsi : *«Ça mange, ça pousse, ça fait des bébés ; ça mange pas, ça pousse pas, ça fait pas des bébés»*.

Nous allons décrire quelques activités particulièrement significatives réalisées dans le CP 1.

Différents sujets d'étude ont été mis en place : deux élevages de papillons (piéride du chou, ver à soie), un aquarium d'eau douce, un aquarium d'eau de mer, des plantations (le blé de la Sainte-Barbe, le jardin de la classe), des sarments de vigne et des rameaux d'arbres, les roses du rosier, la lampe torche, la voiture électrique, la poupée mécanique, l'eau.

Les enfants observaient et entretenaient les élevages et les plantations. Une séance d'activités scientifiques avait lieu chaque semaine. Il n'y a jamais eu de séance de structuration systématique du concept de vie. Les notions abordées dépendaient des phénomènes qui s'y produisaient.

a) Les animaux contenus dans l'aquarium d'eau de mer sont fixés ou bien animés de mouvements peu rapides. Il est donc possible d'analyser les manifestations de la vie en dehors de la locomotion.

- L'anémone de mer : cet animal vit fixé sur un rocher. Cependant, on constate qu'elle a changé de place quelques jours plus tard. On se demande comment elle a pu réaliser cela puisqu'elle n'a pas de pattes.

Comment mange-t-elle ? On lui donne un morceau de moule qu'elle avale très vite. C'est donc un animal qui ne ressemble pas aux autres, qui est fait en «viande» (puisque l'on le mange) et qui se défend (elle pique).

- L'oursin : les enfants regardaient souvent l'oursin se déplacer sur la vitre de l'aquarium avec ses pieds ambulacraires et ses piquants. Ce jour-là, il est immobile avec ses piquants abaissés.

Problème : est-il mort ? Comme les pieds ambulacraires s'agitent faiblement, on pense qu'il est en train de mourir. Sorti de l'aquarium, il sent mauvais : il commence à se décomposer.

Autour de lui, sur ses piquants, se trouvent des petites boules gris-vert : est-ce que sont des œufs ? des crottes ? On ouvre l'animal avec des ciseaux, dans l'intestin (information apportée par le maître) les mêmes petites boules sont visibles : ce sont des crottes.

On voit qu'il n'est pas possible de reconstituer l'animal quand il est ouvert (totalité organique).

- L'huître et les moules : un enfant avait vu que l'huître s'était refermée.

Problème : l'huître, qui ressemble à un caillou, bouge ; mais pourquoi bouge-t-elle ? pourquoi est-elle fermée ? pour se protéger dans sa coquille ?

On la touche avec une règle, elle se ferme. On recommence quatre fois. On voit alors que les moules sont entrouvertes. On les touche, elles se ferment. Donc les animaux en question se défendent en se renfermant dans leur coquille.

Quelques jours plus tard, l'huître ne bouge plus. Peut-être est-elle morte ? Proposition : il faut voir si elle sent mauvais. On la sort, elle sent mauvais.

E – Peut-être elle est sale ? Il faut la laver. On la lave. Elle sent toujours mauvais.

E – Lavons-la avec du savon. Elle sent toujours mauvais.

E – Ouvrons-la pour voir dedans ce qu'on mange.

On conclut que les huîtres et les moules sont vivantes quand elles peuvent se fermer.

On coupe le muscle, on casse la charnière, on constate qu'on ne peut pas la recoller. La partie molle qui se mange est «en viande».

b) Les chenilles se transforment en chrysalides immobiles. Les chrysalides immobiles sont-elles mortes ? Quand on les touche, elles remuent la «queue», alors que les chenilles qui sont mortes (individus parasités) ne remuent plus et que la chenille qui a été accidentellement écrasée a moisi. On décide d'attendre de voir ce qui va se passer pour répondre à un enfant qui demande si ces chrysalides vont se transformer en papillons.

c) Dans le petit jardin de la classe ont été semées diverses catégories de graines, et notamment des grains d'un vieil épi de maïs. Au printemps, toutes les graines ont germé sauf celles du maïs.

Problème : ce vieux maïs était-il mort ? On décide de ressemer en classe dix graines du vieux maïs et dix graines jeunes. Les jeunes graines ont toutes germé, seulement trois chez les graines âgées. On en déduit que l'on ne peut savoir si une graine est vivante que si elle germe. Si elle est trop vieille, elle peut mourir.

d) On est sorti observer les arbres de la cour. Les troènes sont les seuls à avoir encore des feuilles. Les platanes et les acacias n'en ont plus. On prélève quelques rameaux : certains présentent des bourgeons et sont verts à la cassure, d'autres n'ont que des bourgeons secs et sont marron à la cassure.

On les ramène en classe, on les met dans l'eau : on constate que les feuilles poussent seulement sur les premiers.

On recommence l'expérience avec des sarments de vigne coupés l'année dernière (secs) et coupés cette année (frais) apportés par le maître : on fait les mêmes observations que précédemment.

CONCLUSION

Si l'on se limite à référer la pensée de l'élève du cours préparatoire à des catégories génétiques, la tentation est grande de constituer cette pensée précausale en un système clos, décourageant tout effort pédagogique. Par contre, si on la réfère à des critères scientifiques, on constate que son évolution, qui se fait par paliers, est grandement aidée par une action didactique. Cependant, on peut faire une sorte de tri entre les aspects de la représentation enfantine qui restent relativement étrangers à la relation pédagogique immédiate (ce qui n'implique pas l'abandon d'exercices sur ces points, mais sans doute leur programmation à plus long terme ; ce type de conclusion est partagé par Montorfano et Fioretti (1988) qui étudient les conceptions relatives au concept d'espèce à l'école élémentaire), et ceux qui paraissent pouvoir, au contraire, être plus directement déterminés par le travail scientifique.

– Semblent difficiles à dépasser immédiatement au CP : la confusion entre le mouvement autonome et le mouvement provoqué, la généralisation de la vie à tous les végétaux sur la base de critères communs à la vie animale et végétale, la désanimation des éléments naturels.

– Semblent pouvoir faire l'objet d'une éducation efficace : la différenciation globale du vivant et du non-vivant, le passage à une conception plus analytique et pluraliste de la vie, l'attribution de la vie aux végétaux sur la base de critères pertinents, la désanimation des objets mécaniques, l'attribution de la vie aux germes, mais plus facilement à l'œuf qu'aux graines, sur lesquelles d'importants obstacles demeurent, l'attitude interrogative vis-à-vis des phénomènes de la vie et du réel en général.

BIBLIOGRAPHIE

- BLOOM J. W. (1990). Context of meaning ; young children's understanding of biological phenomena. *International Journal of Science Education*, vol. 12, n°5, pp. 549-561.
- CARON P., LAMARQUE J. & NURY D. (1976). In V. Host (Dir.), *Recherches Pédagogiques*, n°86. Paris, INRP, pp. 14-24.
- GIORDAN A. & DEVECCHI G. (1987). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- LAMARQUE J., NURY D. & CARON P. (1978). *La représentation du Vivant au cycle préparatoire*. Marseille, CRDP.
- LAURENDEAU M. et PINARD A. (1962). *La pensée causale*. Paris, Montréal, Institut de Recherches Psychologiques.
- MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne, Peter Lang.
- MONTORFANO P. A. & FIORETTI F. (1988). Le cercle de la Vie. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Actes des X^{es} Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, UER de Didactique des disciplines, pp. 221-225.

- PIAGET J. (1927). *La causalité physique chez l'enfant*. Paris, F. Alcan.
- PIAGET J. (1938). *La représentation du monde chez l'enfant*. Paris, F. Alcan.
- ROLLAND A. (1994). *Épistémologie du concept de vie. Analyse historique du concept. Analyse des critères de vie d'élèves entrant en Sixième*. Mémoire de DEA de Didactique des Disciplines Scientifiques, Université Joseph Fourier-Grenoble 1.
- ROLLAND A. & MARZIN P. (1996). Étude des critères du concept de vie chez des élèves de sixième. *Didaskalia*, n° 9, pp. 57-82.
- TROWBRIDGE J. E. & MINTZES J. J. (1988). Alternative conceptions in animal classification : across-age study. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 5, n°7, pp. 547-571.
- VERGNAUD G. (1983). Quelques problèmes de la didactique à propos d'un exemple : les structures additives. In G. Delacote & A. Tiberghien (Eds), *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international, La Londe les Maures*. Paris, CNRS, pp. 391-402.

Remerciements

Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur S. Johsua pour l'aide qu'il nous a apportée dans la rédaction définitive de ce texte.

ANNEXE : GRILLE D'ANALYSE

1. Les mots vivant et non-vivant ont/n'ont pas une **signification** pour l'enfant.

2. Les réponses dépassent/ne dépassent pas le niveau de l'**animisme le plus généralisé**.

3. L'enfant dépasse/ne dépasse pas les **réponses tautologiques**.

C'est vivant parce que c'est vivant, parce que c'est une bête.

4. L'enfant fournit/ne fournit pas **plusieurs critères** pour justifier chaque choix.

5. L'enfant distingue/ne distingue pas le **mouvement autonome** du **mouvement provoqué**.

Il est vivant parce qu'il va où il veut. Elle marche parce qu'elle a une pile.

6. Par l'ensemble de ses choix, il manifeste/ne manifeste pas qu'il **généralise** cette distinction.

7. La vie est/n'est pas accordée à **certains végétaux** sur la base de critères pertinents.

Le géranium est vivant parce que : il faut l'arroser ; il est dans la terre ; il se fane.

8. La vie est/n'est pas accordée à **tous les végétaux** (sauf cas problématiques : feuille, arbre dépouillé...) de façon pertinente.

9. Les **critères communs** à la vie végétale et à la vie animale sont/ne sont pas perçus explicitement.

Ça mange pas comme nous, mais ça boit.

10. La vie est/n'est pas refusée à **certains éléments naturels** sur la base de critères pertinents.

C'est pas vivant parce que ce n'est pas un personnage, ça ne mange pas.

11. La vie est/n'est pas refusée à **tous les éléments naturels**.

12. Les critères utilisés désignent/ne désignent pas positivement les **propriétés de ces éléments**, et non l'absence des indices de la vie.

C'est pas vivant parce que ça ne marche pas tout seul, c'est pas en vrai, c'est de l'air, c'est de l'eau.

13. La vie est/n'est pas refusée à **certains objets mécaniques** sur la base de critères pertinents.

C'est pas vivant parce que ça mange pas, parce que ça ne fait pas de bébés.

14. La vie est/n'est pas refusée à **tous les objets mécaniques**.

15. Les critères utilisés désignent/ne désignent pas positivement les **propriétés de ces objets**, et non l'absence des indices de la vie.

C'est pas vivant parce que c'est fabriqué pour savoir l'heure, parce que c'est un jouet, parce que c'est pas en vrai, parce qu'il est en plastique.

16. La vie est/n'est pas accordée de façon pertinente à l'**œuf**.

Il est vivant parce qu'il a un poussin dedans, parce qu'on le mange.

17. La vie est/n'est pas accordée de façon pertinente à la **graine**.

Elle est vivante parce que si on l'arrose, elle pousse.

18. **Réaction interrogative** ou non à la graine et/ou à l'œuf.

Il est vivant, mais si on l'a fait cuire, il n'est plus vivant.

19. **Réaction interrogative** ou non à l'arbre dépouillé.

Il est peut-être vivant, mais si ses feuilles ne repoussent pas, il est mort.

20. **Réaction interrogative** ou non aux éléments séparés (feuille, fleur coupée).

Elle est vivante, mais elle meurt quand elle se fane.

ARSAC G., GRÉA J., GRENIER D. & TIBERGHEN A. (1995). *Différents types de savoirs et leur articulation*. Grenoble, La Pensée Sauvage, 302 p.

L'ouvrage comprend trois sections abordant chacune une problématique se rapportant au thème principal : 1) la pratique professionnelle, 2) la dimension public-privé dans les savoirs des élèves et des enseignants et 3) le statut épistémologique de trois domaines spécifiques des mathématiques : géométrie, logique et combinatoire. Chaque section comporte quatre chapitres dont le dernier constitue une critique éclairée visant à élargir le questionnement. L'ouvrage porte autant sur les connaissances que sur les savoirs, comme cela est d'ailleurs rappelé dans deux chapitres : « *une "connaissance" est un moyen transmissible mais pas forcément explicitable, qui peut être utilisé pour obtenir, dans une situation, un résultat conforme à une attente ; alors qu'un "savoir" est le produit culturel d'une institution qui analyse et organise les connaissances.* » En dépit du titre, l'ouvrage porte donc autant sur les connaissances que sur les savoirs.

Deux des premiers chapitres sur les « savoirs professionnels », bien qu'ils présentent des analyses fines et démontrent une sensibilité pour les connaissances nombreuses impliquées dans les pratiques étudiées, endossent d'emblée le postulat de l'existence d'un principe de transposition didactique. C'est, estimons-nous, à juste titre que Lucie Tanguy (quatrième chapitre) met en doute la validité de ce postulat comme « *étant éminemment problématique dès lors que l'on considère les savoirs professionnels. Dans la mesure où le savoir de référence ne relève d'aucune définition absolument légitime.* ». B. Pateyron introduit la notion de territoire dans son étude pour circonscrire des pratiques spécifiques de membres agissant en « connivence »,

partageant un vocabulaire spécifique et respectant une organisation sociale structurante. Dans cette ligne de pensée, on peut déplorer que dans toute cette section, aucune mention ne soit faite des nombreuses études américaines sur la « *situated cognition* » (Lave, Carraher, Saxe...), le « *situated learning* », bref sur la contextualisation des connaissances « professionnelles ».

La deuxième partie de l'ouvrage aborde la délicate entreprise de remonter au privé qui se cache sous les actions des enseignants et des élèves. Toute cette section développe ce thème dans trois directions originales. Le privé ne doit pas être confondu avec l'implicite (qui, lui, est nécessairement privé) mais renvoie à ce que le sujet comprend comme devant être occulté, caché. Ce concept m'apparaît fondamental car il révèle une dimension sociale (et du domaine de l'intention) qui transcende les aspects purement cognitifs de l'apprentissage et de son évaluation. Le lecteur saura apprécier la richesse du domaine en approfondissant les chapitres de la section enrichis par une synthèse éclairante de Polymnia Zagefka.

La troisième partie est d'une facture particulière car le chapitre « *synthèse-critique* » a été réalisé par un didacticien (François Conne) qui a choisi de raffiner et d'approfondir la teneur des chapitres plutôt que d'en élargir la problématique. Le lecteur aura avantage à repérer dans le chapitre de F. Conne les portions concernant chaque chapitre et ainsi de procéder à une lecture en parallèle de ses prolongements. Les deux premiers chapitres portent sur la géométrie et la logique et sont étrangement complémentaires. Alors que la géométrie a donné lieu depuis toujours à une organisation en savoirs structurés, son enseignement, par ailleurs, doit prendre en compte les connaissances communes. Par contre, la logique est présente dans l'enseignement des mathématiques mais en tant que connaissance, son statut de savoir ne semblant pas s'imposer comme

nécessaire. On peut regretter le choix de F. Conne de réduire sa «critique» à la notion de situation didactique ; ses analyses antérieures approfondies des relations entre savoirs, savoir-faire et connaissances auraient donné au débat une plus grande portée épistémologique et cognitiviste.

Par la variété des perspectives théoriques qu'il nous propose, cet ouvrage est captivant et amène à réfléchir. Évidemment, on pourrait lui reprocher de poser des questions plutôt que d'y répondre, et même de limiter la formulation de ses questions au cadre théorique fourni par quelques grands concepts de la didactique des mathématiques (française) même si les «coordonnateurs» de la publication ont su judicieusement introduire des chapitres de synthèse qui élargissent le questionnement. En revanche, les choix qu'ils ont faits fournissent un terrain d'essai fécond pour mettre à l'épreuve ces concepts-clés de la didactique des mathématiques. Ainsi, bien que la lecture de l'ouvrage puisse être difficile pour le lecteur peu porté aux réflexions théoriques, elle permet un approfondissement de ces concepts-clés en les «confrontant» à des problématiques élargies. L'ouvrage peut même servir d'initiation à ces concepts mais sans doute au prix d'un retour aux sources pour quelques concepts «subsidiaries» dont le texte ne laisse pas deviner la teneur.

Plusieurs des questions abordées ne se rattachent pas d'emblée à la didactique mais relèvent d'une approche transdisciplinaire qui restera toujours en élaboration. En plus de l'absence de toute référence aux études américaines sur la «situated cognition» (que nous avons soulignée plus haut), on peut déplorer aussi que les dimensions psychocognitive, linguistique et, à un moindre degré, épistémologique du questionnement retenu soient peu pris en compte.

En conclusion, les auteurs se livrent avec audace dans une perspective didactique élargie à une prospection intéressante et enrichissante de trois domaines où s'entremêlent savoirs et connaissances. Le résultat constitue malgré ses lacunes un ouvrage de référence important dans un champ d'étude éminemment pluridisciplinaire.

C. Janvier

DRIVER R., EACH J., MILLAR R. & SCOTT P. (1995). *Young people's images of science*. Buckingham, Philadelphia, Open University Press, 172 p.

Ce rapport de recherche, comportant dix chapitres, est issu d'une recherche plus vaste intitulée «Student's understanding of the nature of science» menée entre 1991 et 1993 et soutenue par le «Economic and Social Research Council».

Dans l'introduction (premier chapitre), les auteurs établissent finement la différence entre les idées à propos des sciences et la compréhension des idées de la science chez les jeunes enfants (de 9 à 16 ans).

Le deuxième chapitre expose pourquoi il est important de savoir quelles idées se font les enfants à propos de la nature de la science. À partir de la littérature du domaine, les auteurs développent un certain nombre d'arguments pour appuyer l'idée qu'une formation à propos de la nature des sciences est à introduire dans les curriculums. Cela permettrait aux étudiants de mieux apprécier la nature hypothétique et conjoncturelle des lois et des théories et de mieux se rendre compte de leurs limites de validité. Une meilleure compréhension des buts des entreprises scientifiques permettrait de mieux différencier sciences et technologie. Une compréhension de la structure sociale des communautés scientifiques est importante dans un contexte de citoyenneté responsable. Trois facteurs apparaissent ainsi comme des éléments-clés pour une compréhension de la nature de la science : les buts du travail scientifique, la nature du statut des connaissances scientifiques, l'aspect social de l'entreprise scientifique.

Le troisième chapitre, en s'appuyant sur des travaux de philosophie des sciences et d'épistémologie, retrace un historique de l'évolution des idées à propos des trois points-clés dégagés ci-dessus et fait le point sur les différents courants actuels, dans une synthèse brève et très claire.

Le quatrième chapitre est une revue des recherches déjà menées sur le même sujet

que le présent travail. Les recherches, leurs méthodologies et leurs résultats y sont présentés en détail. En cas de résultats divergents, les méthodologies sont comparées pour y rechercher des explications de ces divergences.

Le cinquième chapitre présente l'ensemble de la recherche : les questions de départ, leur opérationnalisation, la méthodologie et le matériel mis au point. Les trois thèmes (le but du travail scientifique, la nature et le statut des connaissances scientifiques, et la science comme entreprise sociale) sont explorés au moyen de questions écrites qui se recourent. La méthode et les catégories de l'analyse sont finement précisées.

Le chapitre 6 expose les résultats à propos du thème «but du travail scientifique» par l'analyse du test «qu'est-ce qu'une question scientifique ?» Pour les enfants interrogés, trois catégories de réponses sont dégagées : une question est scientifique si elle peut donner lieu à une investigation empirique, une question est scientifique si elle correspond à un domaine reconnu comme prototypiquement scientifique, une question est scientifique si elle donne lieu à des activités correspondant à ce qui est perçu comme une activité scientifique.

Le chapitre 7 expose les résultats à propos du thème «nature et statut des connaissances scientifiques» par analyse des tests «expériences», «histoires de théories», «garanties de croyances» et «faits et théories». Au niveau le plus simple, le savoir scientifique est décrit comme une image des événements du monde avec très peu de discussion à propos de la différence entre faits et explications. Le niveau le plus sophistiqué décrit un modèle théorique des événements, modèle qui peut être évalué à la lumière des faits.

Le chapitre 8, à partir des résultats précédents, propose un «framework» général qui caractérise les dimensions des raisonnements épistémologiques des étudiants.

Le chapitre 9 expose les résultats à propos du thème «la science considérée comme une entreprise sociale» par analyse du test «conclusion de débats». Deux débats scientifiques sont utilisés pour ce test. Le

premier est historique et tranché : la dérive des continents de Wegener. Le deuxième est actuel, en cours : l'irradiation de la nourriture pour conservation. Il existe une similarité frappante entre les résultats des chapitres précédents et les caractéristiques des raisonnements obtenus à ce test. Les étudiants, majoritairement, exposent une vision où les explications scientifiques émergent de façon inductive à partir des données.

Le dernier chapitre explore les implications des résultats précédents pour l'éducation scientifique. Les arguments développés sont les suivants : la connaissance de la nature de la science permettrait un meilleur apprentissage, une meilleure utilisation des connaissances scientifiques dans la vie et améliorerait l'appréciation de la science comme un enjeu humain. Les auteurs font ensuite des propositions curriculaires comportant des activités d'apprentissage et des mises en séquence de ces activités.

Cet ouvrage est très intéressant à plusieurs égards : c'est une excellente revue de questions sur le sujet où les travaux précédents sont exposés et comparés du double point de vue des résultats et des méthodologies ; la méthodologie de la recherche, le matériel mis au point et l'expérimentation menée sont décrits très en détail ; les résultats sont exposés très clairement, recoupés et mis en perspective ; les propositions curriculaires et d'activités sont suffisamment détaillées pour être utilisées. Cet ouvrage devrait intéresser aussi bien les chercheurs que les formateurs et enseignants des disciplines scientifiques.

A. Dumas Carré

GAY A. (1995). *Étude didactique de situations de construction collaborative de diagnostics d'élevage*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon 1.

Cet ouvrage de 324 pages avec les annexes concerne un champ de recherche relativement peu développé en France qui est celui de la modélisation des rapports existant entre les

savoirs professionnels, le plus souvent a-disciplinaires, et les savoirs théoriques disciplinaires. Alain Gay se propose d'étudier l'impact d'une médiation introduite par un didacticiel hypermédia qu'il a conçu pour constituer une interface entre ces deux types de savoirs. Il s'agit donc d'un travail de pionnier et, à ce titre, il s'apparente à la fois à une recherche descriptive à travers la description des éléments du contexte économique, sociologique, épistémologique et didactique qui fondent cette étude et à une recherche-action. En effet, l'auteur ne se contente pas de décrire les habitudes de communication qui existent entre les différents acteurs, mais tente de les modifier pour substituer une démarche de résolution collective de problèmes à une situation où semble régner une barrière plus ou moins étanche entre les savoirs détenus par les éleveurs de bovins, les techniciens (les pareurs), les vétérinaires et les directeurs de laboratoires d'analyses biologiques. Les expérimentations rapportées dans ce mémoire, ne relevant pas véritablement d'une situation expérimentalement maîtrisée à cause des nombreux paramètres, nourrissent le caractère de recherche-action de ce travail et contribuent à forger la conviction qu'une démarche d'apprentissage s'est bien engagée autour et grâce au logiciel utilisé.

L'originalité de cette recherche provient également des savoirs mis en jeu par le didacticiel. Des pathologies comme, par exemple, les boiteries persistantes dans les élevages laitiers constituent des objets d'apprentissage complexes relevant au sens large de la biologie, mais impliquant des domaines multiples et non connexes comme l'architecture des bâtiments d'élevage, la taille des onglons et les techniques d'analyse biochimique. Ces objets d'apprentissage intéressent le champ de la recherche en didactique et Alain Gay montre tout l'intérêt qu'ils peuvent présenter en tant que contenus informationnels dont on va étudier les conditions de communication. Cette thèse pose bien, à mes yeux le problème de la pertinence de l'utilisation des outils de la didactique pour la résolution de problèmes posés par des situations critiques. Ces outils permettent de comprendre que la situation de crise, introduite par la fragilisation du bétail suite à un élevage intensif imposé par le souci de rentabilité économique, concerne un

nombre important de partenaires inter-dépendants et crée une motivation «naturelle» pour résoudre les problèmes que posent les pathologies des bovidés. Aucun des partenaires n'ayant à lui tout seul la solution, il s'agit bien d'une situation-problème, classique en didactique, qui va demander l'instauration de dialogues pour une mise en commun des connaissances et des compétences et qui fera ainsi apparaître des besoins de formations complémentaires. Autour du problème posé par : comment favoriser l'état de santé du bétail, une situation nouvelle exigeant la coopération des partenaires va pouvoir naître.

Un didacticiel comme celui construit pour cette thèse, couplant une approche guidée et une approche par découverte, peut-il constituer une médiation pertinente pour catalyser une recherche collective de solutions impliquant à la fois le recours au dialogue et une formation, c'est-à-dire le plus souvent une remise en question de ses propres savoirs ? Si ce travail de recherche ne permet pas, pour le moment, d'évaluer à long terme l'acquisition de nouveaux savoirs par les différents partenaires impliqués dans l'expérimentation ou un changement de leurs pratiques professionnelles, les éléments rapportés dans ce mémoire permettent de penser que ce type de logiciel hypermédia est bien adapté pour constituer une aide à la résolution collective de problèmes et pour favoriser la réflexion sur les pratiques. Cependant, je me demande si ce logiciel ne pourrait pas être remplacé par des documents pédagogiques et par une autre médiation humaine ayant pour visée – sur le même thème et avec les mêmes types de partenaires – l'établissement de dialogues et de conflits socio-cognitifs et la résolution de problèmes. Je pense qu'il serait intéressant de pouvoir comparer alors ces différents dispositifs pédagogiques et ainsi mieux préciser les spécificités du didacticiel «Mambo-VL».

Cette étude des «*procès de communication visant la recherche de solutions aux problèmes sanitaires critiques*» constitue également un modèle du genre qui, me semble-t-il, pourrait être transposé fructueusement dans des contextes différents concernant la santé humaine ou l'environnement, où se rencontrent bien souvent et simultanément,

des partenaires multiples dont les logiques ne sont pas forcément complémentaires et des situations critiques qui impliquent des prises de décision collectives. Cette transposition serait d'autant plus aisée que l'auteur en a méthodologiquement bien balisé les étapes. Celui-ci, en s'appuyant sur une bibliographie importante et bien diversifiée, a en effet effectué un excellent travail d'explicitation des contextes des notions et des concepts utilisés, travail qui montre bien l'intérêt de croiser des apports et des terminologies issus de disciplines et de pratiques professionnelles différentes. Le contexte épistémologique que constitue l'écopathologie et l'utilisation de catégories comme par exemple : « connaissances profondes et connaissances de surface », donnent des clés pour comprendre les différentes dimensions du problème et pour fournir une base sémantique au développement d'une véritable interdisciplinarité.

En conclusion, la thèse présentée par Alain Gay repose sur une problématique didactique clairement et solidement construite. Son traitement me paraît très original, décrivant le rôle que pourraient jouer les didacticiens et leur aide, en rendant des informations presque immédiatement disponibles, à la résolution collective de problèmes. L'argumentation, le style et les qualités d'écriture de ce mémoire contribuent à susciter l'intérêt au fur et à mesure de sa lecture. On aurait pu craindre en effet qu'un tel sujet donne lieu à de longues descriptions ; ce n'est pas le cas, les différentes parties sont justes assez redondantes pour que l'on ne se perde pas entre les différentes approches et se complètent comme les pièces d'un puzzle.

D. Favre

LÉVY J.-F. (1995). *Pour une utilisation raisonnée de l'ordinateur dans l'enseignement du secondaire*. Paris, INRP et Association EPI, 175 p.

Le titre répond à une telle attente qu'on ne résiste pas à se précipiter sur l'ouvrage. Le sommaire demeure fort engageant et, même

si l'on ne souhaite pas forcément s'intéresser en priorité aux aspects liés au matériel, on espère beaucoup des aspects didactiques. Les premières inquiétudes se font jour au chapitre 4 : « les éléments logiciels » où les auteurs se cantonnent à des aspects très techniques. Hélas, ces inquiétudes sont fondées : l'essentiel de cet ouvrage porte sur l'étude des conceptions et des savoir-faire relatifs à l'utilisation des ordinateurs. On s'intéresse notamment à des points tels que le bon usage des menus déroulants, de la souris, du copier/coller, les représentations de la machine (types de mémoire, état de fichiers...) et leur évolution chez les utilisateurs élèves ou enseignants.

Ce recentrage effectué vers les spécialistes de la « double compétence », toute référence à des disciplines enseignées étant écartée, on peut s'intéresser à ce bilan de trois années de recherche, menées à l'INRP, en collaboration avec des enseignants en poste. On trouvera notamment l'analyse des difficultés comparées des utilisations du DOS et de Windows avec une conclusion sur la fausse simplicité des interfaces graphiques (p. 56), des expérimentations sur les représentations des mémoires de la machine (chapitre 5), une approche globale des relations utilisateur-système (chapitre 6).

Le chapitre 5 rapporte deux expérimentations, l'une en classe de sixième, l'autre avec des adultes. Les auteurs s'attachent à dégager le rôle des différentes fonctions (charger, enregistrer, couper/coller...) des logiciels dans la conceptualisation de la mémoire des machines, chez les utilisateurs, notamment dans la distinction entre mémoire vive et mémoire de masse. Ils concluent qu'aborder la mémoire par les lieux (mémoire vive/disques) mène les apprenants à une démarche d'évitement de la notion générale de mémoire. Ils n'abordent toutefois pas les notions de mémoire-cache et de disque virtuel ni les difficultés qui s'y rattachent.

Le chapitre suivant présente l'évolution des représentations des ordinateurs chez des apprenants débutants et souligne l'influence néfaste, à long terme, d'un apprentissage comportementaliste, pourtant renforcé par la normalisation des commandes logicielles.

Le dernier chapitre est consacré aux aspects didactiques, cela vaut donc de nous y arrêter plus longuement. Selon les auteurs, l'informatique n'est pas une discipline au sens strict et son histoire ne présente pas assez de recul pour pouvoir dégager une «épistémologie du domaine», donc le concept de «transposition didactique» ne peut pas être utilisé ; l'informatique rencontre par ailleurs des difficultés avec le concept de «pratique socio-technique de référence», les références étant fort dispersées, d'un usage domestique à de nombreuses utilisations professionnelles dans des domaines différents. Les auteurs retiennent finalement la notion d'«objectif-obstacle» pour définir les objectifs des formations.

Les trois exemples traités s'adressent à des publics si différents qu'il apparaît difficile de trouver un lien didactique entre ces situations. Il s'agit en effet d'analyser un stage de formation d'IPR à la pratique du traitement de texte, une expérimentation sur les rapports mémoire-écran en classe de technologie niveau sixième, et enfin une séquence de trois heures destinée à la formation de professeurs scientifiques, basée sur une approche orientée objet. Avec les IPR, l'accent est mis sur une rationalisation fonctionnelle obtenue en développant des «concepts informatiques sous-jacents», tandis qu'en sixième on a choisi de déstabiliser les élèves par des contre-exemples. Enfin le troisième exemple n'explicite que les quinze premières minutes d'une séance de trois heures qui n'est pas décrite dans sa globalité, on n'en connaîtra que le fait qu'une feuille de consignes, indiquant les manipulations à réaliser, a été fournie à chacun afin de préserver son autonomie et son rythme, avec une progressivité dans l'initiative. C'est révolutionnaire ! La conclusion de ce chapitre porte sur l'intérêt de la présence d'un menu permettant de choisir parmi les logiciels présents : on restera sur sa faim didactique.

Cet ouvrage conclut sur la nécessité d'une conceptualisation du système informatique, sous forme de réseau conceptuel, pour tirer le meilleur parti des logiciels, même si des éditeurs prétendent parfois le contraire. Les auteurs soulignent que les difficultés d'abstraction des apprenants peuvent alors devenir critiques.

Les expérimentations, parfois présentées trop succinctement, et leurs résultats analysés sont intéressants pour ceux qui ont à initier divers publics à l'utilisation des machines.

Néanmoins, l'impression générale demeure un certain malaise dû au décalage entre l'intérêt des titres et sous-titres et la faiblesse du contenu, même si l'on doit modérer cette impression en tenant compte de l'évolution des systèmes qui ont, en quelque sorte, rattrapé l'étude en cours de route et diminué l'intérêt de certains résultats devenus obsolètes.

G. Rebmann

MARTINAND J.-L. (1995). *Découverte de la matière et de la technique*. Paris, Hachette Education.

Les auteurs présentent leur ouvrage comme un guide pour que les maîtres puissent pratiquer réellement, en classe, des activités sur «*le monde de la nature et de la technique matérielle*».

L'introduction donne les idées-forces qui sont à la base des choix présentés dans l'ouvrage. Nous les reprendrons ici de façon détaillée, car elles justifient la structure globale du livre. Les idées directrices pour penser les sciences et la technologie à l'école sont les suivantes : il s'agit de déterminer l'étendue du concret dont traite l'école, et le niveau des abstractions qui vont être sollicitées, pour questionner simplement des objets, des processus qui apparaissent complexes. Bien que souvent qualitatives, les connaissances acquises peuvent être rigoureuses ; en cela l'éducation scientifique et technique n'est pas de la vulgarisation. La diversité du domaine à aborder conduit les auteurs à faire les quatre propositions suivantes.

– Distinguer deux registres d'activités : un registre de **familiarisation pratique** avec des objets, des phénomènes, des procédés, des tâches, des rôles, où il s'agit d'explorer, de reconnaître, de classer les manifestations de la matière ou les solutions techniques ; un

registre marqué plus manifestement de l'empreinte de la pensée scientifique et technologique, qui serait celui des **élaborations intellectuelles** : concepts, modèles en relation avec les domaines de familiarisation.

– Envisager trois démarches pour couvrir les programmes : des **démarches d'investigation**, des **démarches de réalisation** orientées par un projet, des **démarches de présentation-illustration**.

– Prévoir deux régimes possibles : un **régime majeur** qui s'appuie sur la mise en œuvre d'une des trois démarches, un **régime mineur** qui ne s'appuie que sur quelques points, qui ne respecte donc pas la dynamique, ni la logique des démarches, mais assure que quelques aspects isolés mais importants du programme ont bien été abordés.

– Envisager trois entrées pour une discipline : une entrée par **les activités**, une entrée par **les objectifs**, une entrée par **les compétences exigibles** nécessaires pour le collège.

Ces premières réflexions sont à la base de la structure des neuf parties suivantes de l'ouvrage : matière et objets à l'école maternelle, réalisations et matériaux, mouvements et mécanismes, la matière et ses états, les montages électriques, l'usage de l'ordinateur, le point de vue de l'énergie, les «savoir-lire» techniques, le ciel et la Terre.

Chaque partie est construite sur le même modèle et se décompose en trois chapitres : le premier est consacré au registre de familiarisation pratique pour le domaine considéré, le second chapitre s'intéresse aux savoirs en jeu et en propose une vision synthétique pour les maîtres, le dernier chapitre propose des activités avec les élèves (de 5 à 13 selon les sujets). À l'issue de chaque partie, un tableau récapitulatif des différentes activités permet de situer chacune d'elles dans une des trois démarches (investigation, réalisation, présentation), dans un des deux registres (familiarisation pratique, élaboration intellectuelle), dans un des deux modes (majeur ou mineur).

Nous n'analyserons pas en détail chacune des parties, mais regarderons simplement l'équilibre global. Une première remarque

s'impose : le regard technologique l'emporte largement sur le regard physique. Une part réduite est donnée aux domaines qui développent ce regard physique, bien que les apprentissages en jeu soient loin d'être simples. À la lecture des récentes instructions officielles, ce déséquilibre ne semble pas justifié.

La deuxième remarque paraît plus fondamentale : dans les mises en œuvre proposées, la place laissée à la prise en compte des conceptions des élèves, à la formulation de problèmes et d'hypothèses, à l'élaboration de protocoles expérimentaux semble réduite, et ce, même dans les démarches d'investigation. Seule la partie consacrée à l'astronomie en abordant un réel travail de modélisation se distingue des autres. Il semble ainsi que dans les choix proposés, l'analyse *a priori* du savoir masque un peu l'analyse du contexte dans lequel les élèves appréhendent ce savoir.

Cependant, en relation avec les récentes instructions officielles, cet ouvrage constitue un outil réaliste et très pratique qui répond bien aux besoins des maîtres souvent démunis devant l'enseignement des disciplines scientifiques. Peu d'ouvrages développent comme celui-ci une réflexion sur les pratiques en relation étroite avec les contraintes institutionnelles. Des propositions sont faites, dont la faisabilité est illustrée dans les parties suivantes. Notons aussi l'intérêt de la partie consacrée aux savoir-lire techniques.

De par sa cohérence et ses aspects pratiques, cet ouvrage apparaît comme un outil intéressant pour aider les maîtres, quelle que soit leur culture scientifique, à aborder les enseignements scientifiques et technologiques à l'école.

F. Vianey

SENSEVY G. (1994). *Une étude des fractions au cours moyen*. Thèse de doctorat, Université de Provence.

«Rendre l'élève autonome», «Placer l'enfant au centre du système éducatif», «Promouvoir le projet personnel de l'élève»... trois slogans?... trois mots d'ordre?... trois

injonctions, certainement, qui restent moralisatrices tant qu'elles ne sont pas associées aux moyens intellectuels humains et matériels de leur réalisation. Mais Gérard Sensevy a pris ces injonctions au sérieux et il a montré comment il était possible de penser les problèmes qu'elles posent et de commencer à répondre. Il a cherché et trouvé un style de fonctionnement de la classe de mathématiques favorable à l'autonomie de l'élève – à une autonomie intellectuelle, puisqu'en classe, il est question de savoir. L'enfant est alors traité dans la classe avec le respect qui lui est dû en ce lieu central de notre système éducatif c'est-à-dire, en élève : le maître aide chaque élève à porter pour son propre compte un projet relatif au savoir en professant de manière à intégrer explicitement dans le projet collectif la part des projets de chacun qui contribue à la progression commune.

Instituer un enfant en élève, de manière à ce qu'il soit autonome, c'est en effet, pour ce chercheur qui est aussi instituteur, proposer à l'activité de cet élève le cadre d'institutions didactiques où les élèves ne sont plus dans l'attente obligée de l'ouvrage proposé par le maître, parce que chaque élève y est autorisé à œuvrer de sa propre initiative. Les relations des élèves au maître comme au savoir s'en trouvent changées en profondeur. Beaucoup se sont risqués à affirmer qu'ils avaient réalisé ce projet, mais Gérard Sensevy n'affirme pas, il rend compte de l'action du maître avec la précision du chercheur. Il le fait avec les mots d'une théorie des institutions didactiques et, comme il pense ses mots avant de leur proposer un emploi nouveau, ils ne sonnent jamais comme des mots d'emprunt. Il travaille son style théorique en se situant d'abord dans le cadre d'une théorie anthropologique du didactique, puis il montre les limites de cette première théorisation en la situant dans le cadre des sciences de l'éducation. Il montre ainsi les enjeux théoriques de sa tentative et, ce faisant, il se situe en théoricien de l'acte d'enseignement, auteur d'une théorisation dont la pierre de touche est le rapport à une pratique personnelle : il rend compte théoriquement de sa propre pratique tout en laissant voir les interrelations humaines dans lesquelles elle se trouve prise. Telle est la gageure qu'il réussit dans la seconde partie de son exposé.

C'est que la tentative qui est le motif de cette thèse n'est pas le fruit de l'inspiration d'un moment ni d'un talent spontané. Elle est solidement préparée, travaillée de longue date. La clé du travail didactique de Gérard Sensevy, c'est la question du temps de l'étude – une temporalité personnelle venue d'un investissement dans la recherche de la connaissance des choses –, et de son articulation au temps didactique – une temporalité institutionnelle qui produit une progression légale dans le curriculum officiel. Cette question avait été posée par Yves Chevallard au début des années 1980, il en proposait une approche institutionnelle en étudiant la dimension sociale du temps didactique dont le professeur est le maître. J'avais repris cette même question, dix ans plus tard, en proposant une approche personnelle où j'étudiais les effets biographiques du temps didactique. Mais les usages de la théorie que fait l'auteur renouvellent les problèmes que nous avons posés, parce qu'il est le maître de la classe où il expérimente des montages institutionnels qui transforment les élèves en producteurs de temps didactique, et parce qu'il montre comment par cet acte qui est traditionnellement le propre du professeur, les élèves deviennent – avec le professeur – des maîtres de leurs apprentissages.

La première idée nouvelle de Gérard Sensevy se dit en peu de mots mais c'est une idée forte : « *J'ai considéré... l'ensemble des pratiques d'enseignement et d'apprentissage qui s'y déroulaient [dans la classe] comme un travail d'institution.* » L'analyse de la temporalité de la classe – étudiée comme institution, c'est-à-dire comme corps instituant – l'amène à montrer comment **l'élève y est en position d'attente** obligée. Cette attente fonde la dépendance au maître comme une norme institutionnelle que l'élève va devoir incorporer sous la forme de systèmes de dispositions. La deuxième idée nouvelle de Gérard Sensevy est d'avoir, dans le même mouvement théorique, « *... considéré la classe comme un champ, c'est-à-dire qu'elle reconnaît un capital spécifique, le capital d'adéquation.* » La recherche de ce capital fonde une libido propre au champ didactique, la production d'habitus didactiques et scolaires se fait alors dans le couplage de ces deux dimensions. L'auteur peut maintenant

travailler le concept de contrat didactique de manière à produire des «Institutions-Instruments». Par ces institutions intérieures à la classe, il change le partage des tâches entre le maître et les élèves en changeant le rapport du maître et des élèves au travail intellectuel de l'élève, pour l'introduire avec sa durée propre, et il observe les effets de ce changement. La première Institution-Instrument consiste en un atelier de production de problèmes, que les élèves eux-mêmes devront recevoir et légitimer. La deuxième consiste en un Journal individuel où le professeur demande aux élèves d'exprimer, sur un domaine de savoir particulier, leurs questions. Ces deux institutions sont donc des dispositifs de régulation du travail d'institution, des dispositifs qui sont nécessairement cogérés par les élèves et le professeur.

Ces institutions sont à la fois des instruments de la recherche expérimentale et des instruments de l'action didactique. Elles doivent donc être présentées sous leurs deux dimensions.

Ces institutions ont permis un travail efficace du contrat didactique. Elles ont induit des rapports nouveaux des élèves à certains objets mathématiques. Ainsi, le travail de production contrôlée d'énoncés et de leur légitimation a amené les élèves et le professeur à développer des outils algébriques particuliers, dont la maîtrise est remarquable. Ainsi, la rédaction du Journal des fractions et l'étude des questions que l'on y trouvait a produit un nouveau partage de l'intention d'enseigner au terme duquel les élèves se sont trouvés à l'origine de certaines séquences d'enseignement. De ce fait, des significations sociales partagées ont pu servir d'emblèmes

et rythmer la progression dans l'étude sous la responsabilité des élèves : ils ont ainsi maîtrisé en partie la mémoire didactique de l'institution – qui est d'ordinaire, comme l'est le temps didactique, sous le seul contrôle du maître.

Enfin le travail de **régulation** produit dans ces institutions a permis d'observer des élèves qui peuvent se différencier de la classe et du maître, en tant qu'auteurs d'œuvres que la classe et le maître ont reconnues. Les relations qui s'établissent dans le travail de régulation sont alors structurantes, parce que la différenciation didactique est une différenciation symbolique qui permet de rencontrer les autres comme autant d'auteurs. Elle construit « *l'autonomie didactique de l'élève sans laquelle il ne peut exister, à l'école, de réelle autonomie* ».

La thèse de Gérard Sensevy constitue donc une date dans les rapports de la didactique des mathématiques aux sciences de l'éducation. Parce que pour la première fois sans doute, un chercheur développant une problématique de l'autonomie et de la régulation s'est emparé des outils théoriques pour l'action venus de la didactique. Parce que cet usage – réalisé sous le contrôle épistémologique serré d'une reconstruction théorique ambitieuse – a réussi à la fois sur le plan de l'expérimentation théorique (l'usage des concepts didactiques tels que l'auteur les a reconstruits permet d'attaquer concrètement des problèmes formulés par les sciences de l'éducation) et sur le plan de la réalisation pratique (les questions posées par les sciences de l'éducation peuvent amener à développer des pratiques originales, pour qui cherche à répondre didactiquement à ces questions).

A. Mercier